

**HYDROLOGISCHE VERANDERINGEN IN NATUURGEBIEDEN:
OVERZICHT VAN BENODIGDE GEGEVENS, ANALYSEMETHODEN
EN MODELLEN**

P.I. Adriaanse

RAPPORT 23



SIGN: R1104-23
EX. NO:
MLV:

**INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING (ICW)
POSTBUS 35, 6700 AA WAGENINGEN**

1987

130 940

Dit rapport is een verbeterde versie van het deelrapport 'Hydrologische veranderingen in natuurgebieden. Overzicht van benodigde gegevens, analysemethoden en modellen' van het onderzoek Afstemming streekplan-landinrichtingsplan. Verschenen als Mededeling nr. 177, Landinrichtingsdienst, Utrecht, 1987.

Copyright© 1987
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Postbus 35, 6700 AA Wageningen
Tel. 08370-19100

ISSN 0921-089X

VOORWOORD

In het kader van een gecombineerd onderzoek van de Rijksplanologische Dienst, de Landinrichtingsdienst en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding is aan het laatstgenoemde instituut gevraagd om aan te geven welke hydrologische aspecten van natuurgebieden van belang kunnen zijn bij het opstellen van een streekplan of een landinrichtingsplan en de onderlinge afstemming van beide plannen. Ten opzichte van het rapport met dezelfde titel dat als LD-mededeling nr. 177 is verschenen, zijn in dit ICW-rapport enkele wijzigingen aangebracht als gevolg van nieuwe ontwikkelingen. In het bedoelde onderzoek 'Afstemming streekplan-landinrichtingsplan' staat een verbetering van de onderlinge afstemming van streekplannen en landinrichtingsplannen centraal. Hydrologische aspecten van natuurgebieden spelen een belangrijke rol bij met name de thema's 'Hydrologische buffering' en 'Ecologische infrastructuur' van dit onderzoek.

Van het ICW wil ik graag dr. P.J.T. van Bakel, dr. L.F. Ernst, dr. J. Wesseling en drs. R.H. Kemmers bedanken, evenals ing. A. Kok van de LD. Zij hebben bijgedragen aan dit rapport door hun ideeën, kritische opmerkingen en vragen.

INHOUD

	blz.
IN KORT BESTEK	1
1. INLEIDING	3
2. VERWERVING VAN GEGEVENS	4
3. BESCHRIJVING NATUURGEBIED	6
3.1. Inleiding	6
3.2. Biotische aspecten	7
3.3. Abiotisch milieu	7
3.4. Menselijke invloed	8
4. BESCHRIJVING HYDROLOGISCHE SITUATIE	9
4.1. Inleiding	9
4.2. Oppervlaktewater	10
4.2.1. Kwantiteit	10
4.2.2. Kwaliteit	10
4.3. Grondwater en bodemwater	11
4.3.1. Kwantiteit	11
4.3.2. Kwaliteit	13
5. INGREPEN EN EFFECTBEPALING	16
6. METHODEN VAN EFFECTBEPALING OP DE HYDROLOGISCHE SITUATIE	17
6.1. Inleiding	17
6.2. Voorspellen van effecten op oppervlaktewater	17
6.2.1. Kwantiteit	17
6.2.2. Kwaliteit	19
6.3. Voorspellen van effecten op grond- en bodemwater	19
6.3.1. Kwantiteit	19
6.3.2. Kwaliteit	21
7. METHODEN VAN EFFECTBEPALING OP HET NATUURGEBIED	24
7.1. Inleiding	24
7.2. Terrestrische milieus	24
7.3. Aquatische milieus	27
GERAADPLEEGDE LITERATUUR	28
LITERATUUR VOOR VERDERE STUDIE	30

IN KORT BESTEK

Het onderzoek 'Afstemming streekplan-landinrichtingsplan' is een gezamenlijk onderzoek van de Rijksplanologische Dienst, de Landinrichtingsdienst en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en heeft geresulteerd in een werkwijze om de onderlinge afstemming van streekplan en landinrichtingsplan te verbeteren.

Ter ondersteuning van dit onderzoek wordt een overzicht gegeven van de hydrologische aspecten van een natuurgebied en van de beschikbare methoden om effecten van ingrepen op de hydrologie en de aanwezige natuurwetenschappelijke elementen in het natuurgebied te bepalen. Het overzicht is bedoeld als een eerste oriëntatie voor betrokkenen bij ruimtelijke ordening, landinrichting en beheer, die zich bezighouden met een natuurgebied waar veranderingen in de hydrologie de huidige natuurwaarden bedreigen.

In het overzicht wordt aangegeven hoe bestaande gegevens over een gebied kunnen worden verzameld, alsmede welke gegevens van belang zijn voor een beschrijving van een gebied. Hierbij wordt enerzijds ingegaan op een beschrijving van het natuurgebied aan de hand van het biotisch en abiotisch milieu en het menselijk handelen in het gebied en anderzijds op een beschrijving van de hydrologische situatie, zowel naar kwantitatieve als kwalitatieve aspecten van oppervlakte-, bodem- en grondwater. Vervolgens worden een aantal mogelijke ingrepen genoemd, waarna verschillende methoden aan bod komen om het effect van een ingreep op het natuurgebied te voorspellen. Bij het bepalen van het effect op de hydrologische situatie worden eerst enkele basisprincipes van de belangrijkste processen aangestipt. De verschillende methoden die de veranderingen naar kwantiteit en kwaliteit van het oppervlakte-, bodem- en grondwater bepalen, komen aan de orde. Tot slot wordt aangegeven welke methoden er bestaan om de effecten van ingrepen op de aanwezige natuurwaarden te voorspellen.

1. INLEIDING

Dit rapport is geschreven voor het onderzoek 'Afstemming streekplan-landinrichtingsplan' voor het thema hydrologische buffering. Het kan echter ook bij andere thema's van dit onderzoek waar hydrologische veranderingen in natuurgebieden aan de orde zijn, worden gebruikt. Het genoemde onderzoek richt zich op een verbetering van de onderlinge afstemming van de ruimtelijke ordening en de landinrichting. Aan de hand van een viertal thema's wordt een werkwijze ontwikkeld met behulp waarvan de afstemming kan worden verbeterd.

Dit rapport is bedoeld als een eerste oriëntatie voor betrokkenen bij ruimtelijke ordening, landinrichting en beheer, die te maken hebben met een natuurgebied dat door veranderingen in de hydrologie bedreigd kan worden. Er wordt ingegaan op de informatie die nodig is om een natuurgebied en diens specifieke hydrologische situatie te beschrijven, alsmede op de beschikbare methoden om effecten van ingrepen op de hydrologische situatie en het natuurgebied te bepalen. Er wordt niet ingegaan op eventuele maatregelen om de veranderingen tegen te gaan. De lijst aanbevolen literatuur aan het eind van het rapport biedt de lezer de mogelijkheid bepaalde onderdelen verder uit te diepen.

Daar dit rapport binnen het onderzoek 'Afstemming streekplan-landinrichtingsplan' is opgesteld, is er uitsluitend aan landbouwkundige ingrepen aandacht besteed. Ingrenen gerelateerd aan de drinkwatervoorziening of de industrie blijven dus buiten beschouwing, hoewel deze natuurlijk ook een effect op de natuurwaarden kunnen hebben. Een tweede beperking is dat er uitgegaan is

van een scheiding van de landbouw- en de natuurfunctie, en niet van verweving. Dit houdt in dat er sprake is van een natuurgebied, al dan niet met reservaatstatus, gelegen naast een landbouwgebied. Een natuurgebied wordt in dit rapport omschreven als een gebied dat als primaire functie het doen voortbestaan of ontwikkelen van waardevolle natuurwetenschappelijke elementen heeft. Het betreft in dit rapport natuurwetenschappelijke elementen die afhankelijk zijn van de aanwezigheid van water van een bepaalde hoedanigheid en in een bepaalde hoeveelheid, dat wil zeggen met een bepaald peil- of grondwaterstandsverloop.

In Hoofdstuk 2 wordt aangegeven op welke manier beschikbare gegevens verzameld kunnen worden. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de gegevens die nodig zijn om het natuurgebied met zijn waardevolle natuurwetenschappelijke elementen te beschrijven. In Hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de gegevens die nodig zijn om de hydrologische situatie in en rondom het natuurgebied te beschrijven, terwijl Hoofdstuk 5 ingaat op de mogelijke ingrepen en het gebruik van modellen om de effecten van ingrepen te bepalen. Vervolgens wordt er een overzicht gegeven van de bestaande methoden om effecten van ingrepen in de waterhuishouding op het natuurgebied en de hydrologische situatie te voorspellen. Hierbij worden de methoden onderscheiden in methoden voor effectvoorspelling van veranderingen in waterkwantiteit of -kwaliteit (Hoofdstuk 6) en methoden voor effectvoorspelling van veranderingen in de natuurwaarden van het natuurgebied (Hoofdstuk 7).

2. VERWERVING VAN GEGEVENS

Veel van de gegevens die nodig zijn om het natuurgebied en de hydrologische situatie te beschrijven zijn beschikbaar in de vorm van kaarten, jaarboeken en dergelijke. De volgende groepen van gegevens zijn hierbij in ieder geval van belang:

- gegevens over topografie (reliëf, morfologie, hoogteligging, grondgebruik).
Bron: topografische kaarten Nederland 1:200 000, 1:50 000, 1:25 000 (Topografische Dienst van Nederland);
- gegevens over neerslag en verdamping.
Bronnen: maandoverzicht van het weer in Nederland, maandoverzicht van de neerslag in Nederland (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, KNMI) Klimaat van Nederland (BUISHAND en VELDS, 1980);
- bodemkundige, geologische en geomorfologische gegevens. Bronnen: bodemkaarten Nederland 1:50 000 (Stichting voor Bodemkartering, STIBOKA), geologische kaarten Nederland 1:50 000 (Rijksgeologische Dienst; RGD), geomorfologische kaarten Nederland 1:50 000 (STIBOKA);
- grondwaterstands- en grondwaterstijg-hoogtegegevens, geohydrologische opbouw ondergrond (dikte en voorkomen van goed en slecht doorlatende grondlagen).
Bron: grondwaterkaarten Nederland 1:50 000 (Dienst Grondwaterverkenning TNO, DGV-TNO);
- hydrochemische gegevens grond-, oppervlaktewater en neerslag;
- waterstaatkundige gegevens (oppervlaktewaterstelsel met voorgeschreven zomer- en winterpeilen, drainagepatroon). Bron: waterstaatskaarten Nederland 1:50 000 (Rijkswaterstaat);

- vegetatie. Bron: vegetatiekaarten Nederland 1:200 000 (Rijksinstituut voor Natuurbeheer, (RIN));
- menselijk handelen in het verleden (beekregulering, herinrichting, beregening, lozing van afvalstoffen). Bron: kaarten met kunstmatige hydrologische systemen 1:50 000 (DGV-TNO).

Voor het verzamelen van hydrologische gegevens zijn er meestal meetpunten in het gebied ingericht. TNO heeft een gids uitgebracht waarin ze een zoekstelsel introduceert om gebruikers van meetgegevens de weg te wijzen naar de beheerders van de diverse gegevens (CONTACTGROEP TNO, 1986). Het zoekstelsel heeft een centrale ingang in de vorm van zogenaamde stippenkaarten waarop de gegevens van de verschillende deelsystemen gezamenlijk worden gepresenteerd. Een stippenkaart is een topografische kaart, schaal 1:50 000 waarop per kaartvierkant van 1 km² met behulp van stippen is aangegeven welke hydrologische grootheden in dit vierkant worden gemeten en gearchiveerd. Vervolgens wordt men doorverwezen naar de beheerder van het betreffende deelsysteem. De volgende deelsystemen zijn vertegenwoordigd:

- oppervlaktewater, kwantiteit en kwaliteit (Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, DBW/RIZA en Dienst Getijdewateren);
- grondwater, waterstanden en stijghoogten (DGV-TNO), geohydrologie, kwaliteit en geologie diepe bodem (RGD);
- grondwateronttrekkingen (Provinciale Waterstaatsdiensten en Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, RIJP);
- ondiepe bodem (STIBOKA);
- meteorologische gegevens (KNMI).

Zowel biotische als abiotische gegevens zijn geïnventariseerd in het naslagwerk 'Milieu-inventarisaties in Nederland' (DUMONT et al., 1985). Hierin wordt een overzicht gegeven van milieu-inventarisaties op provinciale en nationale schaal van bodem, water, lucht, flora en fauna. Ook een aantal regionale inventarisaties die tezamen een aanzienlijk databestand opleveren, staan hierin vermeld. Voorbeelden zijn de vegetatiekarteringen ten behoeve van landinrichting en de grootschalige karteringen van STIBOKA. De milieu-inventarisaties leveren landschapsecologische gegevens op over geomorfologie, geologie, bodemgesteldheid, water, lucht, flora, vegetatie en ruimtegebruik of combinaties van deze factoren. Het betreft steeds systematisch uitgevoerde en verwerkte inventarisaties.

In het naslagwerk worden alle milieu-inventarisaties systematisch beschreven aan de hand van een aantal aspecten. Enkele aspecten van beschrijving zijn het kader waarbinnen de milieu-inventarisatie is verricht, de wijze van dataverzameling en de eventuele wijze van verwerking van de basisgegevens. De beschrijvingen van de milieu-inventarisaties zijn samengevat in een overzichtstabel en in zeven specifieke kruistabellen. Deze tabellen geven een eerste indruk van de inventarisaties en maken een globale onderlinge vergelijking mogelijk.

In veel gevallen zal tenslotte veldwerk noodzakelijk blijken om ontbrekende gegevens te verzamelen.

3. BESCHRIJVING NATUURGEBIED

3.1. INLEIDING

Bij het beschrijven van het natuurgebied is het niet alleen voldoende om kennis van de verspreiding van de natuurwaarden te hebben. Er moet ook inzicht worden verworven in de relaties tussen biotisch en abiotisch milieu, die hebben geleid tot de actuele waarden en eventueel ook aanleiding zullen geven tot de ontwikkeling van nieuwe waarden. Ook de omgeving van het natuurgebied speelt daarbij een belangrijke rol.

VAN WIRDUM (1980b) ontwikkelde in dit verband de theorie van het ecologisch veld en maakte daarbij onderscheid in positionele, conditionele en operationele relaties tussen biotisch en abiotisch milieu. De positionele relaties geven daarbij de

relatie aan met de ruimere omgeving en vormen het dominante stelsel van betrekkingen. Naar analogie van de elektriciteitsleer worden positionele relaties wel vergeleken met de netspanning en de conditionele relaties met de specifieke elektrofysische structuur van een apparaat. In deze theorie wordt de standplaats beschouwd als het apparaat (ecodevice). Het apparaat (standplaats) zet de binnenkomende energie uit de omgeving om in voor de plant werkzame (operationele) factoren. Operationele relaties betreffen derhalve de betrekkingen tussen een plant en zijn fysiologisch relevante omgeving welke zich afspeelt op microschaal. Op welke wijze de binnenkomende energie wordt omgezet en de grootte van de resulterende operationele factoren tot stand komt, wordt geheel bepaald door de conditionele eigenschappen die in de standplaats zijn vertegenwoordigd. KEMMERS (1986) werkte dit stelsel van betrekkingen uit voor de invloed van de waterhuishouding op natuurlijke begroeiingen (zie Fig. 1).

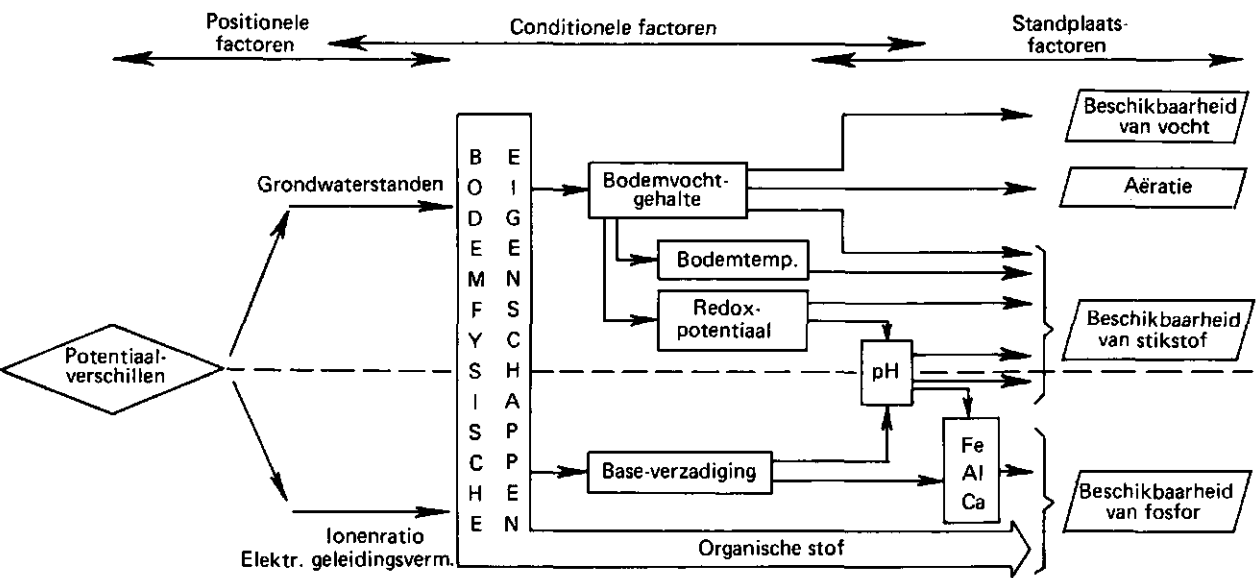


Fig. 1. Schema van de ecohydrologische benaderingswijze voor de modellering van standplaatsfactoren in afhankelijkheid van aspecten van de kwantitatieve en kwalitatieve waterhuishouding

De gegevens die het natuurgebied beschrijven, worden in de volgende paragrafen behandeld.

3.2. BIOTISCHE ASPECTEN

Plantesoorten en plantengemeenschappen

Alleen de voor het natuurbeheer belangrijkste soorten en gemeenschappen dienen te worden gegeven. Criteria voor 'belangrijk' zijn:

- karakteristiek voor het gebied;
- bedreigd, zeldzaam of kwetsbaar op nationaal niveau;
- bedreigd, zeldzaam of kwetsbaar op internationaal niveau.

Indien bepaalde soorten in het recente verleden zijn verdwenen kan dit apart worden vermeld evenals het ontbreken van kenmerkende soorten van een plantengemeenschap.

Faunasoorten

Alleen de voor het natuurbeheer belangrijkste diersoorten dienen hier te worden vermeld. Voor criteria voor 'belangrijk', zie boven. Vooral overwinterende vogels, broed- en trekvogels, grote zoogdieren en beschermde diersoorten kunnen hier genoemd worden.

Ontwikkeling en beheer van de vegetatie

De ontwikkelingsfase waarin de vegetatie zich bevindt, wordt beschreven. Welke rol speelt het natuurbeheer hierin of zou deze kunnen spelen? Welke eerstvolgende min of meer stabiele vegetatie zal verschijnen indien het beheer wordt gestaakt?

3.3. ABIOTISCH MILIEU

Standplaatstypen

Een indeling in typen dient vooral op het natuurbeheer te zijn afgestemd. Een indeling naar ecohydrologische kenmerken is door de Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap beschreven (DIJKEMA et al., 1985). Ook een indeling naar ecotopen (ecologisch uniforme onderdelen van het landschap) is mogelijk (STUMPEL-RIENKS, 1974). Vaak bieden ook bodem-, hoogte- en vegetatiekaarten een goede ingang.

Bodemsoorten

De ligging en de oppervlakten van de bodemsoorten dienen hier te worden vermeld. Voor de classificatie van de bodemsoorten kan die van STIBOKA worden gebruikt (zie bijvoorbeeld de bodemkaarten 1:50 000), maar indien een lokaal relevant classificatiesysteem meer informatie geeft, kan deze ook worden toegepast.

Geologische opbouw ondergrond en geomorfologie

Een globale beschrijving is hier voldoende, daar de hydrogeologie bij de gegevens omtrent grondwater (zie 4.3.) nog uitgebreider aan bod komen. Er kan gebruik worden gemaakt van een geomorfologische kaart.

Hydrologie

Deze is in dit verband van een zodanig belang dat dit in Hoofdstuk 4 apart wordt behandeld.

Hoogteligging en reliëf

Minimum en maximum maaiveldshoogten worden vermeld en een hoogtelijnen- of hoogtepuntenkaart kan worden toegevoegd.

3.4. MENSELIJKE INVLOED

Geschiedenis en recente ontwikkelingen

Welke invloed heeft de mens gehad op het ontstaan van het gebied en de aanwezige natuurwaarden? Hierbij dient vooral aandacht aan de geschiedenis van het waterbeheer te worden geschonken. Indien het gebied zich ten gevolge van recent ingezette ontwikkelingen in een overgangsfase bevindt, dienen deze ontwikkelingen in ogenschouw te worden genomen.

Grondgebruik en menselijke activiteiten binnen het gebied, niet voor het natuurbeheer

Betreft het een reservaat, een beheersgebied of is het een onbeschermd gebied en hoe is het grondgebruik? Voorbeelden van menselijke activiteiten binnen het gebied die niet primair het natuurbeheer betreffen, zijn een ruilverkaveling, drinkwaterwinning of recreatie. Wat is het effect op het natuurbeheer van de activiteit?

Inrichtings- en beheersmaatregelen voor het natuurbeheer

Bij alle maatregelen dient ook het beoogde doel van de maatregel te worden aangegeven.

4. BESCHRIJVING HYDROLOGISCHE SITUATIE

4.1. INLEIDING

Hydrologische processen spelen zich af op zeer verschillende schaalniveaus. Er zijn zowel processen op microschaal (voorbeeld: de waterhuishouding van één plant), als op mondiale schaal (de hydrosfeer). ENGELLEN (1984) spreekt in dit verband van hydrologische systeemanalyse. Op basis van hydrologische en fysisch-geografische gegevens van een gebied worden de hydrologische processen gerangschikt in een aantal (deel) systemen. De systemen vertonen een hiërarchische opbouw en passen op 'geneste' wijze in elkaar. Een hydrologisch systeem kan zowel een oppervlaktewatersysteem omvatten als een grondwatersysteem of een combinatie van beide. De grenzen tussen systemen worden meestal door natuurlijke barrières of overgangen bepaald. De verschillende

systemen kunnen elkaar onderling beïnvloeden, een verandering in de lokale hydrologische factoren kan bijvoorbeeld een gevolg zijn van (geo)hydrologische veranderingen binnen een groter systeem.

Een dergelijke hydrologische systeem-analyse kan bijdragen aan een eerste, voornamelijk kwalitatief inzicht in het effect van een ingreep op het natuurgebied. Van belang hierbij is de plaats waar en de schaal waarop de ingreep plaatsvindt en de ligging van het natuurgebied binnen het hydrologische systeem.

Een voorbeeld van de samenhang tussen de verschillende systemen en het effect van een ingreep in een dergelijke situatie geeft Fig. 2. In deze figuur wordt weergegeven hoe de regionale kwelstroming beïnvloed wordt door een verandering in de lokale stromingspatronen. De diepere ontwatering direct naast het natuurgebied heeft tot gevolg dat de kwelstroming afgevangen wordt en minder dicht aan het grondoppervlak komt.

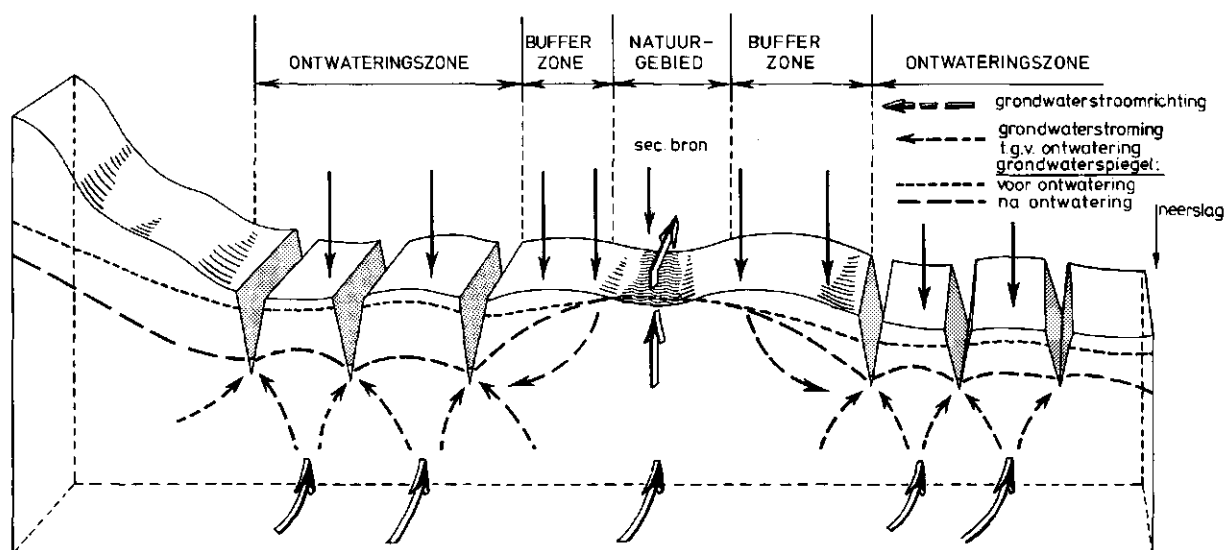


Fig. 2. Schematisering van de stroming van grondwater in een landschappelijk laaggelegen gebied met kwel vóór en na ontwateringsmaatregelen. Bron: KEMMERS (1982)

Voor een beschrijving van de hydrologische situatie van het natuurgebied en diens omgeving zijn met name de processen op lokale schaal (in, onder en direct rondom het natuurgebied, zie ook 3.1.) en op regionale schaal (de wijde omgeving van het natuurgebied, bijvoorbeeld het stroomgebied van een beek of een poldergebied) van belang. De beschrijving richt zich op het oppervlaktewaterstelsel en het grondwatersysteem in het beschouwde gebied en op de onderlinge samenhang hiertussen. Zowel kwalitatieve als kwantitatieve aspecten worden belicht.

4.2. OPPERVLAKTEWATER

4.2.1. Kwantiteit

Samenhang oppervlaktewaterstelsel, kunstwerken, streefpeilen en dwarsprofiel

Met behulp van bovenstaande gegevens kunnen enkele belangrijke parameters voor flora en fauna worden bepaald. Voor aquatische flora en fauna zijn de waterdiepte, stroomsnelheid en stroomrichting in combinatie met waterkwaliteitsparameters belangrijke criteria. Voor de terrestrische flora en fauna is de grondwaterstand van groot belang en deze hangt onder meer af van het oppervlaktewaterpeil.

Gegevens over stroomsnelheden en -richtingen zijn nodig bij het bepalen van verspreiding van stoffen via het oppervlaktewater.

Aanvoer en afvoer

Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in vrije aan- en afvoer van oppervlaktewater en geforceerde aan- en afvoer. Geforceerde aan- en afvoer vindt plaats met behulp van molens, gemalen, stuwen of slui-

zen.

Op het niveau van het tertiaire oppervlaktewaterstelsel (sloten, greppels) heeft men te maken met ontwatering (eventueel via een buizensysteem), afwatering, en misschien beregening of opstuwing.

Met het oog op de aquatische flora en fauna in het gebied kunnen herkomst van het aangevoerde water en de waterscheiding binnen het beschouwde gebied van belang zijn.

Waterbalans

In de waterbalans dient het aan- en afgevoerde water te worden gekwantificeerd. Hierbij moet rekening worden gehouden met drainage van grondwater naar het oppervlaktewaterstelsel of wegzijging uit het oppervlaktewaterstelsel naar het grondwater. Ook de neerslag en verdamping moeten in beschouwing worden genomen. Gegevens voor een kritieke periode, bijvoorbeeld het zomerhalfjaar zijn interessanter dan die voor een willekeurig jaar. De waterbalans kan eventueel naar deelgebieden worden uitgesplitst.

4.2.2. Kwaliteit

Elektrisch geleidingsvermogen (EGV), zuurgraad (pH), stikstof, fosfaat, chloride, microverontreinigingen, bicarbonaat en sulfaat

Enkele belangrijke bronnen van vervuiling van oppervlaktewater in landelijke gebieden zijn:

- de oppervlakkige afvoer van water van landbouwpercelen. Hierdoor kan het oppervlaktewater belast worden met meststoffen of bestrijdingsmiddelen (microverontreinigingen).
- van elders aangevoerd vervuild water. Dit water is vrijwel altijd van oorsprong

Rijn- of Maaswater, dat vele verontreinigende stoffen bevat, zoals chloride, nitraat, fosfaat, sulfaat, bicarbonaat en microverontreinigingen (zware metalen en organische microverontreinigingen).

In bepaalde gevallen zullen niet alle genoemde waterkwaliteitsparameters behoeven te worden bepaald. De kwaliteit van het oppervlaktewater is namelijk vooral van belang voor de aquatische vegetatie. Het effect van gebiedsvreemd infiltrerend oppervlaktewater op de terrestrische vegetatie is onder andere afhankelijk van de weerstand van de bodem tegen horizontaal infiltrerend water en de dispersie in de bodem. Indien er sprake is van een infiltratiegebied, kan het oppervlaktewater de terrestrische vegetatie elders beïnvloeden, wanneer deze in het gebied staat waar het vervuilde geïnfiltreerde oppervlaktewater als kwel weer naar boven komt. Dit is onder meer afhankelijk van de verblijftijd van het grondwater.

4.3. GRONDWATER EN BODEMWATER

4.3.1. Kwantiteit

Bodemsoort en bodemprofiel

De bodemsoort en de verschillende horizonten bepalen de bodemeigenschappen zoals beschikbaar bodemvocht, bodemwaterkarakteristiek (pF-curve) en onverzadigde doorlatendheidskarakteristiek. De hoeveelheid beschikbaar bodemvocht is de hoeveelheid water (mm vloeistof) die in de wortelzone beschikbaar is voor gewas of vegetatie plus de hoeveelheid water die door capillaire opstijging nageleverd wordt. De eerstgenoemde hoeveelheid hangt nauw samen met de bodemwaterkarakteristiek (deze geeft het verband tussen de potentiaal van het water,

h en het watergehalte als volumefractie, θ) en de bewortelingsdiepte. De tweede hoeveelheid is van belang bij een ondiepe grondwaterstand, omdat van hieruit dan capillaire nalevering aan de wortelzone op kan treden. De mate waarin dit gebeurt, hangt af van de $k(h)$ -relatie (onverzadigde doorlatendheid k als functie van de waterpotentiaal h) van de bodemlagen.

Geohydrologische opbouw

Het betreft hier informatie over de dikte en de doorlatendheid van de verschillende geologische lagen in de ondergrond, de bergingscoëfficiënt van de lagen, de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen en de weerstand van deze lagen. Voor zand geldt dat de doorlatendheid vooral bepaald wordt door de korrelverdeling (textuur), terwijl bij klei de structuur belangrijker is. Bij afwezigheid van scheuren of gangen is de doorlatendheid van klei zeer klein. Bij veen is vooral de veensoort belangrijk voor de doorlatendheid, bijvoorbeeld rietveen is goed, maar mosveen is slecht doorlatend.

Watervoerende lagen waarin de belangrijkste stromingsrichting horizontaal is, worden gekarakteriseerd door het produkt van de doorlaatfactor k en de dikte van de laag D , de kD -waarde ($m^2 \cdot d^{-1}$). Van slecht doorlatende lagen is vooral de weerstand tegen verticale stroming van belang. Deze weerstand c karakteriseert de slecht doorlatende lagen en is gedefinieerd als het quotiënt van de dikte d' van de laag waar het stijghoogteverschil 'over heen' staat en de verticale doorlatendheid k' (eenheid: $m \cdot (m \cdot d^{-1})^{-1} = d$).

Neerslag, verdamping, berekening

Deze factoren bepalen mede de waterbeweging in de bovenste meters van de grond.

Kwel en infiltratie

Bij kwel dient onderscheid te worden gemaakt in lokale kwel afkomstig van hogere delen binnen het gebied en regionale kwel van buiten het gebied. Het optreden van een bepaald soort kwelstroming kan seizoenafhankelijk zijn. Een onderzoek van JANSEN en KEMMERS (1980) in het natuurgebied Groot Zandbrink illustreert dit. (Fig. 3, 4). De lokale stromingen domineren in het natte winterseizoen, terwijl de regionale stroming in de drogere zomer aan belang wint. Dit is vooral een gevolg van de verschillen in neerslag en verdamping gedurende de verschillende seizoenen.

Het optreden van kwel kan worden afge-

leid uit de aanwezigheid van bepaalde soorten of een bepaalde vegetatie en soms van vliesjes van ijzerbacteriën op het water. Bij kwel dient ook het vanggebied van waaruit de kwelstroming gevoed wordt en de verblijftijd te worden aangegeven; welke grootte heeft het vanggebied en in welke mate is het beschermd tegen ingrepen die de kwantiteit of de kwaliteit van het infiltrerend water veranderen?

Oppervlakteafvoer

Oppervlakteafvoer van regenwater kan een belangrijke rol spelen bij gronden onderhevig aan een sterke kwelstroming. In dergelijke gronden treedt vaak weinig uit-

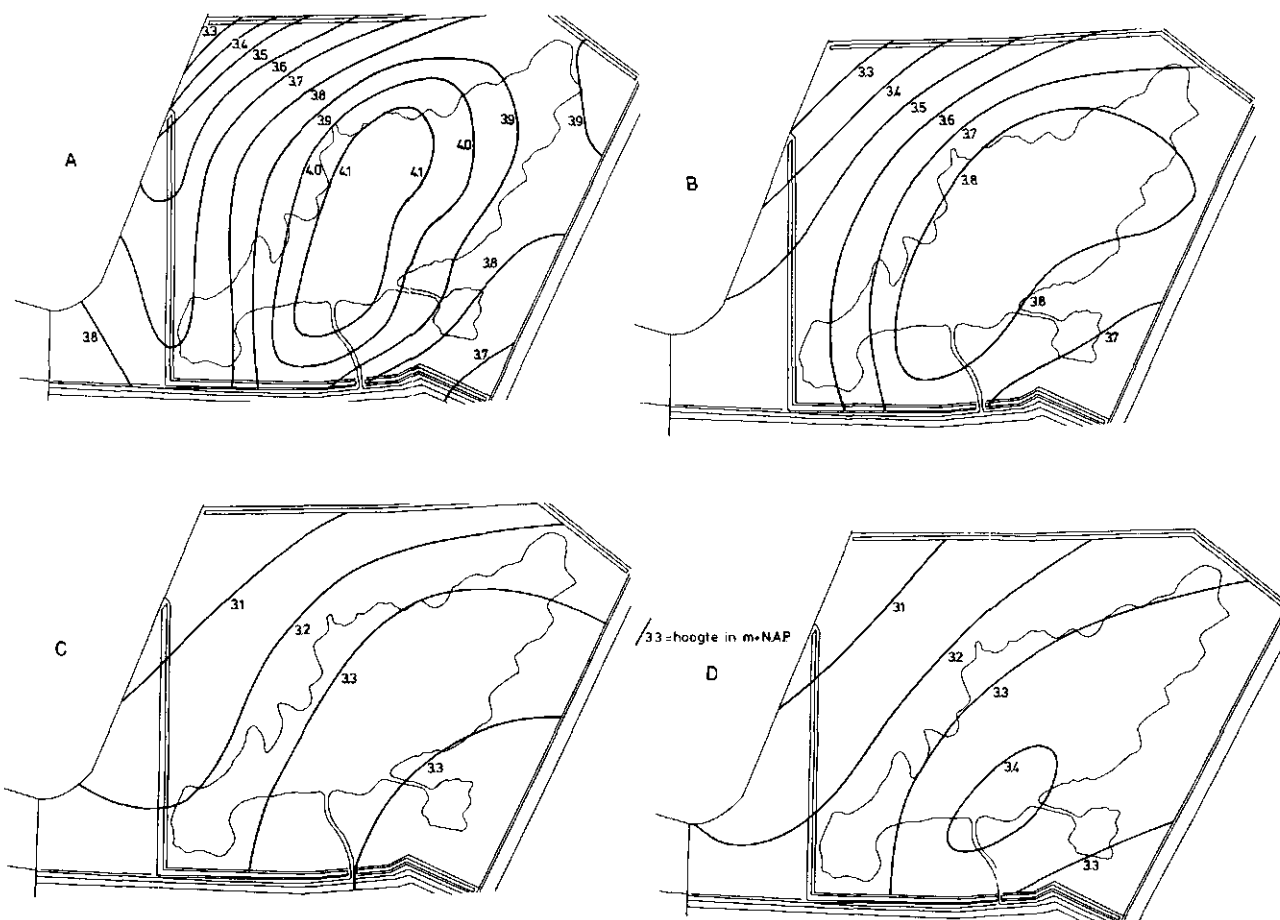


Fig. 3. Isohypsenbeelden per seizoen (gemiddelden over 1978/1979). A: december, januari, februari B: maart, april, mei C: juni, juli, augustus D: september, oktober, november. Bron: JANSEN en KEMMERS (1980)

droging van het bodemprofiel op en het bergend vermogen van de grond is klein. Hierdoor wordt regenwater oppervlakkig afgevoerd. Deze afvoer wordt mede beïnvloed door het aanwezige microreliëf. Dit heeft tot gevolg dat de invloed van het regenwater gering is en de kwaliteit van het bodemwater vooral wordt bepaald door die van het opkwellend grondwater (KEMMERS, 1986).

Grondwaterstand en grondwaterstandsverloop

De optredende grondwaterstand in de bovenste watervoerende laag kan uit peilingen van landbouwbuizen worden bepaald of uit grondwatertrappenkaarten. Grondwatertrappen zijn gebaseerd op de gemiddelde

kleinste en grootste grondwaterstandsdiepten ten opzichte van het maaiveld. Het verloop van de grondwaterstand met de tijd, de tijd-stijghoogtelijn geeft inzicht in de optredende fluctuaties in de grondwaterstand. Ook duurlijnen kunnen hiertoe worden benut. Bij een duurlijn zijn tegen elkaar uitgezet op de verticale as de grondwaterstand (c.q. grondwaterstandsdiepte) en op de horizontale as het aantal dagen (of het percentage van de tijd van het jaar) dat deze wordt overschreden. Met behulp van duurlijnen kunnen standplaatsen in verschillende klassen worden ingedeeld al naar gelang hun hydrologische positie in het landschap.

4.3.2. Kwaliteit

Voor planten met een natuurwetenschappelijke waarde is niet alleen de kwantiteit, een voldoende beschikbaarheid van water, van belang maar ook de aanwezige kwaliteit. De hydrochemische samenstelling van het grondwater beïnvloedt de basenverzadiging aan de kationenuitwisselingscomplexen en hiermee de zuurgraad. Gecombineerd met de beschikbaarheid van vocht, en hiermee samenhangend de temperatuur en aëratie, zijn dit de belangrijkste variabelen die de mineralisatie en humusvorming van organische stof bepalen. Het netto-resultaat van deze beide processen vormt het voornaamste aandeel in de voorziening van de essentiële voedingsstoffen stikstof en fosfor voor de plant. Op een indirecte wijze is de hydrochemische samenstelling van het water, zoals uitgedrukt in het elektrisch geleidingsvermogen of de ionenratio, daarom van belang. De hoeveelheid nitraat in het water is van een direct belang voor de plant.

Typering water: EGV-IR diagram

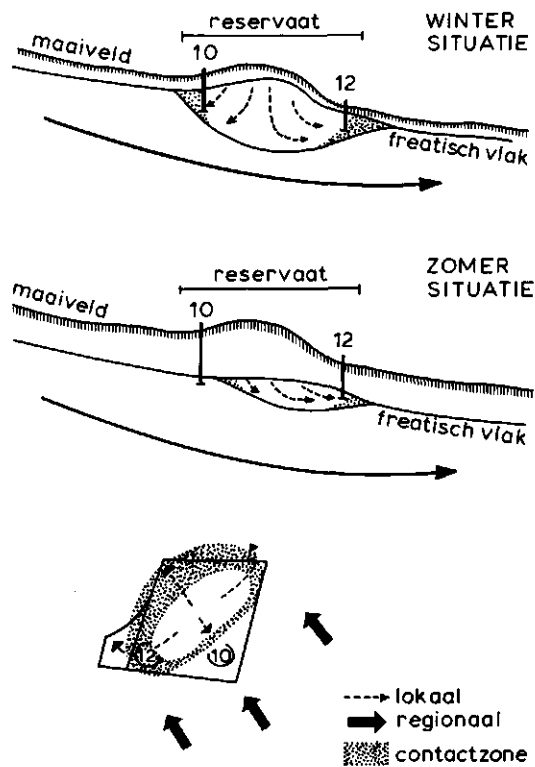


Fig. 4. Schema van lokale en regionale grondwaterstroming in de winter- en in de zomersituatie. Bron: KEMMERS en JANSEN (1980)

en Stiffdiagram

De waterkwaliteitsparameters elektrisch geleidingsvermogen (EGV) en ionenratio (IR) geven een goede, eerste indicatie voor de positie van een standplaats in de hydrologische kringloop. De verhouding van Ca^{2+} -ionen ten opzichte van de Ca^{2+} - en Cl^- -ionen samen wordt de IR (ook wel relatief calciumgehalte) genoemd. Voor niet-verontreinigd water (voor zoet water houdt dit in dat het chloridegehalte kleiner is dan circa 20 mg.l^{-1}) kan de IR goede informatie geven over de herkomst van het water. In grondwater, dat transport door de bodem heeft ondergaan, zijn de in regenwater dominerende ionen (Na^+ , K^+ en H^+) vervangen door Ca^{2+} dat vrijkomt uit bodemafzettingen. De IR is gedefinieerd als:

$$\text{IR} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Cl}^-]} \left(\frac{\text{meq.l}^{-1}}{\text{meq.l}^{-1}} \right)$$

Het EGV is een maat voor het ionengehalte van het water. De hoofdwater- of herkomsttypen kunnen in een EGV-IR diagram (VAN WIRDUM, 1980a) worden aangegeven (Fig. 5). De volgende referentiepunten zijn aangegeven:

- atmotroof : watertype, waarvan de ionen afkomstig zijn uit de atmosfeer (neerslag);
- lithotroof : watertype, waarvan de ionenbron de lithosfeer (gesteente) is;
- thalassotroof : watertype, waarvan de ionenbron gevormd wordt door de zee.

De typen water hangen af van de 'plaats' in de hydrologische cyclus. Een waterdeeltje doorloopt de hydrologische cyclus in het EGV-IR-diagram op de volgende wijze. Beginnend bij het atmotrofe ('regenwaterachtige') referentiepunt als infiltrerend neerslagwater schuift het, al naar

gelang van de mate van aanrijking met ionen (met name Ca^{2+} en HCO_3^-) tijdens het transport door de ondergrond op naar het lithotrofe ('grondwaterachtige') referentiepunt. Vervolgens stroomt het als meer of minder vervuild oppervlaktewater naar het thalassotrofe referentiepunt van zeewater.

In de figuur zijn tevens referentiepunten aangegeven die op moerassen betrekking hebben:

- ombroetroof : watertype, voorkomend in de zone die niet meer in contact staat met de minerale ondergrond, maar gevormd wordt door neerslag (dit watertype komt voor in veenmos, dat positieve ionen uit het neerslagwater omwisselt voor H^+ -ionen);
- rheotroof : watertype, voorkomend in de

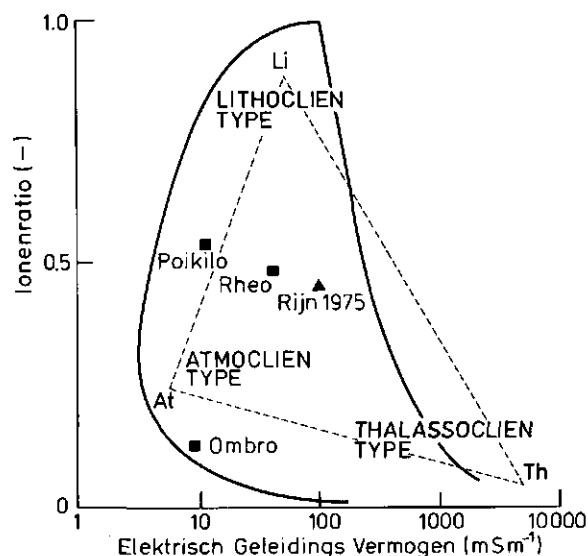


Fig. 5. Het EGV-IR-diagram, dat grondwater karakteriseert met behulp van het elektrisch geleidingsvermogen EGV en de ionenratio IR. De omhullende ononderbroken lijn omsluit het gebied waarbinnen de watermonsters zich bevinden. Verdere verklaring zie tekst. Bron: VAN WIRDUM (1980)

zone met continue aanrijking van mineralen via het grondwater;

poikilotroof : watertype uit de contactzone van ombrotroof en rheotroof water (hier worden soortenrijke vegetaties aangetroffen met vele, elders zeldzame soorten).

Bovendien is een Rijnwatermonster in het diagram weergegeven: de plaats van dit monster in het diagram is representatief voor vervuilde oppervlaktewatermonsters.

De EGV-IR-diagrammen benadrukken de relatie tussen de verschillende monsterpunten en verhullen gedetailleerde gegevens per punt. Een andere, veel gebruikte mogelijkheid om het water te typeren is het Stiff- of ionendiagram. Deze methode geeft meer informatie per punt maar zegt minder over de relatie tot andere punten. Hierin worden de aandelen van de verschillende kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) en anionen (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) overzichtelijk weergegeven; deze aandelen zijn uitgedrukt in percentage van de totale kationen- of anionensom (berekend op basis van milliequivalenten).

Tevens kunnen de totale kationen- en anionenconcentratie in milliequivalenten per liter en de zuurgraad worden aangegeven. Enkele veel voorkomende grondwatertypen zijn in Fig. 6 weergegeven. Het water uit een infiltratieprofiel bevat een relatief kleine hoeveelheid ionen, is vrij zuur en de ionen Na^+ , K^+ , Cl^- en SO_4^{2-} zijn overheersend. Het betreft meestal een hooggelegen profiel in vergelijking met het omringende landschap; het bodemwater uit dit profiel is afkomstig van de neerslag, waarmee het een chemisch sterke gelijkenis vertoont.

Het water uit een kwelprofiel heeft een

relatief grote ionensom, een hogere zuurgraad en bevat Ca^{2+} en HCO_3^- als belangrijkste ionen. Kwelprofielen komen voor op laaggelegen delen van het landschap; het grondwater stroomt hier ondergronds toe en is daardoor verrijkt met mineralen, met name met het Ca^{2+} -ion en het HCO_3^- -ion als diens tegenhanger.

Nitraat

Het nitraatgehalte van het ondiepe maar ook van het diepe grondwater is de laatste jaren sterk gestegen. Belangrijke oorzaken hiervan zijn het sterk toegenomen kunstmest-N gebruik en de overschotten van dierlijke mest, waaruit stikstof in de vorm van nitraat uitspoelt. In voedselarme milieus leidt een vergroting van het stikstofaanbod tot een verzuuring van de vegetatie. Het stikstofaanbod kan overigens ook vergroot worden doordat de mineralisatie in de bovengrond is toegenomen door een verlaging in grondwaterstand.

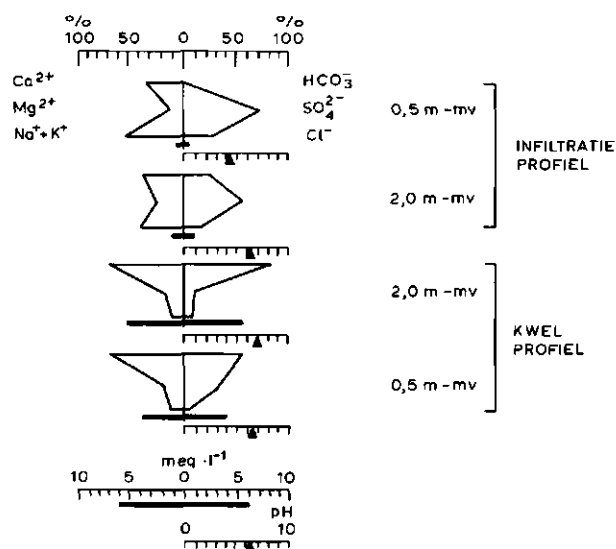


Fig. 6. Stiff-diagram en veel voorkomende grondwatertypen als ionen-diagram volgens Stiff. Bron: KEMMERS (1982)

5. INGREPEN EN EFFECTBEPALING

Voorbeelden van ingrepen in de waterhuishouding voor de landbouw zijn:

- grondwaterwinning voor beregening;
- grondwatervoeding in de vorm van oeverinfiltratie;
- polderpeil-, boezemwaterpeil-, kanaalpeil-, meerwaterpeilveranderingen;
- veranderingen in de afwatering van het gebied;
- veranderingen in de ontwateringssituatie van het gebied;
- veranderingen in de watervoorziening van het gebied;
- veranderingen in het doorspoelbeleid voor het oppervlaktewater.

Van belang is welke effecten de ingrepen op de hydrologische situatie in en om het natuurgebied hebben en op de aanwezige natuurwetenschappelijke waarden in het gebied. In de volgende hoofdstukken wordt aangegeven welke methoden beschikbaar zijn om de effecten van een ingreep in de waterhuishouding te voorspellen. Er wordt daar alleen ingegaan op die methoden die duidelijk aangeven op welke wijze de voorspelling tot stand is gekomen en welke dus tot reproduceerbare resultaten leiden. Dit houdt in dat schattingen van de effecten door deskundigen buiten beschouwing blijven. Onder een methode wordt hier verstaan de wijze waarop een kwantitatief verband wordt bepaald tussen een hydrologische ingreep en het effect daarvan op de hydrologische situatie of de natuurwaarden. Het kan bijvoorbeeld analytische formules, grafieken, tabellen of computermodellen betreffen.

Bij modellen en het gebruik hiervan

dient men in het algemeen de volgende aspecten niet uit het oog te verliezen. Een model is altijd een schematisering van de werkelijkheid. Bij het toepassen van een model op een specifieke situatie dient men altijd na te gaan of de vereenvoudigingen en vooronderstellingen van het model ook gelden voor de specifieke te bestuderen situatie. Bij het toepassen van een model moet aan een aantal grootheden een waarde worden toegekend. Wanneer men de waarden niet kent, is het mogelijk deze met behulp van simulatieberekeningen met het model te vinden. Men simuleert dan een goed waargenomen periode uit het verleden met een reeks modeloplossingen, waarin de betrokken grootheden worden gevarieerd en kiest voor de parameters de set waarden, die de beste overeenkomst met de waarnemingen vertoont. Dit noemt men de calibratiefase van het model. Na de bepaling van de parameterwaarden moet het model worden getoetst aan veldwaarnemingen om na te gaan in hoeverre het model de werkelijkheid benadert. (Wanneer de parameters door optimalisering aan een reeks waarnemingen in de calibratiefase zijn bepaald, dient men hier, om schijnnaauwkeurigheid te vermijden, het model te toetsen aan tevoren niet gebruikte waarnemingen.) Deze toetsing noemt men de verificatieperiode.

Hieruit volgt dat men een model in een specifieke situatie pas kan toepassen indien de situatie-specifieke parameterwaarden bekend zijn en het model getoetst is aan een reeks waarnemingen. Dit houdt in dat men over een aantal waarnemingen uit het specifieke gebied moet beschikken alvorens het model gebruiksklaar is. Wanneer men de bovengenoemde stadia doorlopen heeft, is het mogelijk om over te gaan tot het voorspellen van effecten van ingrepen met behulp van het model. Vanzelfsprekend dient hiervoor de ingreep in gekwantificeerde vorm bekend te zijn.

6. METHODEN VAN EFFECTBEPALING OP DE HYDROLOGISCHE SITUATIE

6.1. INLEIDING

De waterbalans van het natuurgebied over een zekere periode luidt:

$$P + O_{in} + G_{in} = E_a + O_{uit} + G_{uit} + \Delta V$$

(m³ per tijdseenheid)

waarin: P = neerslag
O_{in} = aanvoer via oppervlaktewater
G_{in} = instroming van grondwater
E_a = actuele verdamping
O_{uit} = afvoer via oppervlaktewater
G_{uit} = uitstroming van grondwater
ΔV = toename van watervoorraad

De waterbalans vormt steeds de basis voor kwantitatieve berekeningen van de hydrologische situatie in het natuurgebied. Deze kwantitatieve berekeningen kunnen weer een uitgangspunt vormen voor beschouwingen over de waterkwaliteit of de hoeveelheid aangevoerde stoffen.

De waarden van neerslag en potentiële verdamping kunnen bij het KNMI worden verkregen. Hierop moeten in het algemeen correcties worden uitgevoerd voor het beschouwde gebied.

De toename van de watervoorraad in het gebied kan worden berekend aan de hand van het verschil in open waterpeilen en grondwaterstanden aan begin en einde van de beschouwde periode, de bergingscoëfficiënt van de grond, het vochtdeficit in droge perioden (het verschil in vochtvoorraad in de grond bij een gelijkblijvende grondwaterstand) en de betrokken oppervlakten.

De aan- en afvoer van oppervlaktewater kan ofwel worden bepaald uit afvoermetingen

in open watergangen en uit gegevens van gemalen ofwel berekend worden met behulp van modellen. De kwaliteit van het oppervlaktewater verandert in het algemeen niet op ingrijpende wijze tijdens transport, tenzij er onderweg lozingen van vervuilende stoffen plaatsvinden. De belangrijkste aspecten van het oppervlaktewater worden in het onderstaande behandeld.

De ondergrondse toe- en afvoer van water is alleen langs indirecte weg te bepalen. Er zal daarom worden ingegaan op de beschrijving van grondwaterstromingen en de verschillende oplossingsmogelijkheden van grondwaterstromingsproblemen. De kwaliteit van het aanwezige bodenwater is van groot belang voor de terrestrische vegetatie in het natuurgebied. Deze hangt in belangrijke mate af van het feit of het een kwel- of een infiltratiegebied is. Vooral in de lagere delen van een kwelgebied is de kwaliteit van het diepere grondwater van belang. De kwaliteit van grondwater is tijdens transport door de bodem aan verandering onderhevig. De belangrijkste processen die een rol spelen bij het bepalen van de waterkwaliteit, alsmede de beschikbare methoden om veranderingen in de waterkwaliteit als gevolg van bepaalde ingrepen te kunnen voorspellen, zullen in het onderstaande ook aan bod komen.

6.2. VOORSPELLEN VAN EFFECTEN OP OPPERVLAKT- TEWATER

6.2.1. Kwantiteit

Voor de berekening van stationaire (niet met de tijd veranderende) stromingen in open water worden de empirische formules van Chézy of Manning zeer veel toegepast.

Deze luiden:

- Stromingsformule van Chézy: $\bar{v} = C(RS)^{\frac{1}{2}}$

waarin:

\bar{v} = gemiddelde stroomsnelheid ($m \cdot s^{-1}$)

C = coëfficiënt van Chézy ($m^{\frac{1}{2}} \cdot s^{-1}$)

R = hydraulische straal (m)

S = energieverhang (-)

- Stromingsformule van Manning:

$$\bar{v} = k_M \cdot R^{2/3} \cdot S_e^{\frac{1}{2}}$$

waarin:

k_M = coëfficiënt van Manning voor leidinggruwheid ($m^{1/3} \cdot s^{-1}$)

S_e = energieverhang (-)

De afgevoerde hoeveelheid water in open watergangen wordt zo bepaald in afhankelijkheid van de leidinggruwheid, het doorstroomde oppervlak en het energieverhang

Voor de niet-stationaire stromingen in open watergangen wordt bovendien gebruik gemaakt van de continuïteitsvergelijking en de bewegingsvergelijkingen van Euler voor de drie loodrecht op elkaar staande coördinaten. De continuïteitsvergelijking zegt, dat er binnen een gekozen controlevolume geen vloeistof ontstaat of verdwijnt. In zeer eenvoudige vorm luidt deze voor een bepaalde periode en voor water met een constante dichtheid als volgt.

- Continuïteitsvergelijking: $I - O = \Delta S$

waarin:

I = toevoer in gekozen periode (m^3)

O = afvoer in gekozen periode (m^3)

ΔS = verandering van de berging gedurende de gekozen periode (m^3)

Aanwezige kunstwerken zoals stuwen, duikers, gemalen en dergelijke zullen ook de afgevoerde hoeveelheden oppervlaktewater beïnvloeden en hiermee dient dus ook reke-

ning te worden gehouden.

Mogelijke oplossingswijzen

De bovengenoemde vergelijkingen worden op veelal numerieke wijze opgelost, vaak nadat het stromingspatroon vereenvoudigd is. Modellen die wijzingen in waterstanden en/of stroomsnelheden als gevolg van wijzingen in een waterbeheersingssysteem kunnen berekenen, zijn bijvoorbeeld DIWA (ANDRÉ en GELOK, 1976) en HYDRA (BOUWKNECHT, 1978). Het programma DIWA berekent debieten, waterstanden, stroomsnelheden en droogleggingen in een waterbeheersingssysteem met boomstructuur voor stationaire eenparige en niet-eenparige stroming (eenparig houdt in dat de stroomsnelheid in de stroomrichting niet verandert; stationair wil zeggen niet veranderend met de tijd). Veranderingen in de bestaande situatie kunnen optreden door veranderingen in de wateraanvoer of -conservering, het verbeteren van de afwatering (inclusief wijziging polderpeil of bouw kunstwerken) of de aanleg en/of verwijdering van waterlopen. HYDRA kan voor dezelfde ingrepen worden toegepast, maar geldt voor waterbeheersingssystemen met netstructuren en voor zowel stationaire als niet-stationaire stromingssituaties. Niet-stationaire berekeningen vinden plaats wanneer veranderingen in afvoer, waterstanden en stroomsnelheden in een kort tijdsbestek optreden. Er wordt dan rekening gehouden met traagheid en berging in het waterbeheersingssysteem.

Andere voorbeelden van programma's die stroming van water in oppervlaktewaterstelsels berekenen zijn NETFLOW (VREUGDENHIL, 1973) en SIMWAT (QUERNER, in voorbereiding).

6.2.2. Kwaliteit

De processen die ten grondslag liggen aan veranderingen in waterkwaliteit kunnen zeer verschillend zijn al naar gelang het beschouwde waterkwaliteitsaspect. Hierop zal niet verder worden ingegaan.

Mogelijke oplossingswijzen

Er zijn voor het berekenen van veranderingen in de oppervlaktewaterkwaliteit verschillende modellen voorhanden. Het zijn meestal eendimensionale modellen die veranderingen in de waterkwaliteit als gevolg van lozingen en/of natuurlijke afvoer in in een netwerk van rivieren en kanalen simuleren. In het deelrapport 'Oppervlaktewater' van 'Effectvoorspelling Milieu - Effectrapportage' (VROM/L&V, 1985) is een uitgebreid overzicht gegeven van dit soort modellen, gebaseerd op zowel empirische als wiskundige procesbeschrijvende grondslagen.

6.3. VOORSPELLEN VAN EFFECTEN OP GROND- EN BODEMWATER

6.3.1. Kwantiteit

De twee basisvergelijkingen waarmee de grondwaterstroming mathematisch kan worden beschreven zijn:

- Wet van Darcy

Voor een willekeurige stroming is deze te schrijven als:

$$v_x = -k_x \frac{\delta h}{\delta x}$$

waarin:

v_x = component in de x-richting van de filtersnelheid of Darcy-snelheid (m.s⁻¹)

k_x = hydraulische doorlatendheid in de x-richting (m.s⁻¹)

h = grondwaterpotentiaal (per eenheid van gewicht (m))

De filtersnelheid is dus evenredig met de doorlatendheid en het verhang. (In de onverzadigde zone is de doorlatendheid k_x geen constante maar een functie van de volumefractie water θ .)

- Continuïteitsvergelijking

Per eenheid van volume luidt deze:

$$-\frac{\delta \theta}{\delta t} = \frac{\delta v_x}{\delta x} + \frac{\delta v_y}{\delta y} + \frac{\delta v_z}{\delta z} + S$$

waarin:

θ = volume water per volume grond (-)

S = put- of bronterm (d⁻¹)

x, y, z = loodrecht op elkaar staande coördinaten (m)

t = tijd (d)

Deze vergelijking geeft aan dat er geen verlies van massa kan optreden.

Beide vergelijkingen gaan zowel op in het verzadigd als onverzadigd grondwatersysteem (resp. beneden de grondwaterspiegel en tussen maaiveld en de grondwaterspiegel). Met de combinatie van beide vergelijkingen kan in principe voor elk probleem een differentiaalvergelijking worden afgeleid. De oplossing daarvan is afhankelijk van het hydrologische systeem. Deze afbakening geschiedt in de vorm van randvoorwaarden. Bij de in de tijd variërende stromingssituaties moeten tevens beginvoorwaarden bekend zijn. Naast randvoorwaarden moeten van het beschouwde systeem de hydrologische eigenschappen bekend zijn om het effect van een ingreep te kunnen berekenen.

Bij het verzadigde grondwatersysteem wordt veelal voor de berekeningen de geohydrologische opbouw geschematiseerd in watervoerende lagen waarin alleen horizontale grondwaterstromingen optreden en

weerstandbiedende lagen met alleen verticale stromingen. Deze quasi-driedimensionale benadering heeft vele rekentechnische voordelen. Indien de grondwaterstroming als stationair kan worden beschouwd (dat wil zeggen niet verandert in de tijd) is verdere vereenvoudiging mogelijk, onder andere doordat er geen tijdsafhankelijke randvoorwaarden behoeven te worden meegenomen.

Bij berekening van grondwaterstroming in de onverzadigde zone wordt meestal de vereenvoudiging toegepast dat stroming alleen in verticale richting optreedt en dat het bodemprofiel tot een beperkt aantal lagen wordt geschematiseerd.

Bij een gegeven begintoestand, randvoorwaarden en parameterwaarden kan de invloed van een ingreep in het hydrologische systeem in principe worden berekend. De uitkomst kan worden uitgedrukt in:

- verandering in stijghoogte naar plaats (en tijd);
- veranderingen in richting en snelheid van de grondwaterstroming;
- veranderingen in de termen van de waterbalans.

Mogelijke oplossingswijzen

Mogelijke oplossingswijzen voor de opgestelde differentiaalvergelijking zijn:

a. Analytisch

Voor niet al te ingewikkelde stromingsproblemen zijn analytische oplossingen voorhanden. Indien de veronderstellingen nodig voor het toepassen van bedoelde analytische formules geoorloofd zijn, is het gebruik van deze oplossingen zeker aan te raden, aangezien ze snel inzicht in de belangrijkste processen bieden.

Als in de praktijk de geohydrologische situatie niet zodanig is te vereenvoudigen, dat het gebruik van deze compacte analy-

tische formules mogelijk is, moeten numerieke oplossingswijzen toegepast worden (zie Numeriek).

Voor een aantal situaties is de analytische oplossing zelf al zo complex dat voor berekeningen computerprogramma's noodzakelijk zijn. Deze eenvoudige computermodellen vergen weinig invoergegevens en indien de voor het gebruik ervan noodzakelijke veronderstellingen zijn verantwoord, is toepassing van deze modellen te prefereren boven de numerieke computermodellen.

Een voorbeeld van een eenvoudig computermodel is HYMO (LD). Het berekent de kwelen wegzijgingsstromingen tussen een natuurgebied en een landbouwgebied waar een peilwijziging plaatsvindt. Het model geldt voor een gebied waarin secties met verschillende peilen kunnen voorkomen en met één, twee of drie lagen in de ondergrond. Bovendien is het model alleen toepasbaar in gebieden met een zeer dicht slotenpatroon, daar de grondwaterstand in het bovenste watervoerende pakket is gelijkgesteld aan het oppervlaktewaterpeil.

b. Numeriek

Bij wat ingewikkelder stromingssituaties is men al gauw aangewezen op numerieke oplossingswijzen. Door discretisatie naar plaats en tijd wordt het onderzoeksgebied in een veelal groot aantal (100 à 1000) elementen opgedeeld. Per element kan nu de continuïteitsvergelijking en de wet van Darcy worden toegepast. Hierbij is het mogelijk veel beter rekening te houden met de ruimtelijke variaties in de parameters.

Voor het oplossen van de op deze wijze ontstane stelsels van vergelijkingen zijn verschillende computerprogramma's ontwikkeld. Een combinatie van het programma met de probleemafhankelijke invoergegevens levert het numerieke model voor de gegeven situatie. De modellen zijn onder te verdelen in

(zie ook de lijst 'Literatuur voor verdere studie'):

- Modellen voor de verzadigde zone; al of niet stationair. Voorbeelden zijn STATRECT/TRANSECT, TRIST/TRINS, FEMSAT, GROMULA/GRODRA, FIESTA, FLOP/FRONT en SEEP. (COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO, 1982).

Over het algemeen levert de modellering van de verzadigde zone, mits men beschikt over een goede kwantitatieve geohydrologische beschrijving, weinig principiële problemen op. Het vereist wel een grote deskundigheid, evenals het op een verantwoorde wijze kiezen van het geschiktste model en het gebruik hiervan. Indien deze deskundigheid ontbreekt zullen de modelberekeningen vaak tot foutieve resultaten of interpretaties leiden.

- Modellen voor de onverzadigde zone; al of niet stationair c.q. quasi-stationair. Deze modellen zijn eendimensionaal in verticale richting. Voorbeelden zijn: model RIJTEMA-DE LAAT, MUST, DEMGEN, SWATRE, SOMOF (COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO, 1982).

De modellen zijn ontwikkeld om de gevolgen van ingrepen in de waterhuishouding op de groei van landbouwgewassen te kunnen bepalen. Ze zijn in het algemeen ook goed bruikbaar om de gevolgen van ingrepen op de hoogte van de verdamping van natuurlijke vegetatie te bepalen. De berekende verdampingsreducties kunnen weer gekoppeld worden aan een vegetatietype. Ook hier is deskundigheid een vereiste.

c. Andere oplossingswijzen zoals elektrische analogons, schaalmodellen of praktijkproeven

Elektrische analogons worden thans weinig meer toegepast, daar de constructie hiervan

en het verrichten van metingen zeer tijdrovend is. Ze zijn grotendeels vervangen door het gebruik van numerieke modellen. Praktijkproeven zullen altijd noodzakelijk blijven omdat modelberekeningen dienen te worden getoetst aan waarnemingen van bijvoorbeeld grondwaterstanden, afvoeren, peilen en dergelijke.

6.3.2. Kwaliteit

Bij grondwaterkwaliteitsproblemen is de werkelijke stroomsnelheid van het water in de grond (en niet de filtersnelheid) van belang en moet de werkelijk door het water afgelegde weg worden gevolgd. De belangrijkste transport- en interactieprocessen, die het water in de grond ondergaat, zijn:

- Advectie
Opgeloste stoffen worden meegevoerd door de stroming van het grondwater.
- Diffusie
Door een verschil in concentratie aan opgeloste stoffen vindt in naast elkaar gelegen delen van het grondwater diffusie van een gebied met een hoge naar dat met een lage concentratie van stoffen plaats. Diffusie is over het algemeen een traag proces en kan in vele gevallen worden verwaarloosd.
- Dispersie
Hoewel de hoofdstromingsrichting evenwijdig aan de potentiaalgradiënt is, treden op microscopische schaal allerlei stromingsrichtingen op bijvoorbeeld door het verschil in diameter van de poriën. Door deze richtingsveranderingen treden allerlei mengingen op, waardoor uitwisseling van stoffen wordt versneld. In het algemeen kan dispersie worden beschouwd als een diffusie waarbij de diffusiecoëfficiënt een functie van de

snelheid is.

- Adsorptie

Opgeloste stoffen of gassen worden geadsorbeerd aan het oppervlak van de vaste bodemdelen.

- Afbraak en omzetting

Vooraf in de onverzadigde zone vinden vele afbraak- en omzettingsprocessen plaats die sterk afhankelijk zijn van pH, temperatuur, aëratietoestand, organische stofgehalte etc. Het modelleren van deze processen is zeer moeilijk en praktisch niet haalbaar.

- Chemische processen

Chemische bindingen en veranderingen zijn nog weinig opgenomen in modellen die het transport van opgeloste stoffen in de bodem beschrijven, omdat ook hier vele gecompliceerde factoren een rol spelen.

Wanneer van de bovengenoemde processen alleen de advectie als belangrijkste factor in ogenschouw wordt genomen, luiden de basisvergelijkingen voor stoftransport in de bodem als volgt (eendimensionale stroming):

- Transportvergelijking:

$$F_i = v C_i$$

waarin:

F_i = flux van de opgeloste stof i per eenheid van oppervlak ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

v = filtersnelheid, berekend met behulp de Wet van Darcy ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

C_i = concentratie stof i ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

- Continuïteitsvergelijking:

$$\epsilon_w \frac{\delta C_i}{\delta t} = - \frac{\delta F_i}{\delta x} - S_i$$

waarin:

ϵ_w = met water gevuld poriënvolume ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)

t = tijd (s)

x = afstand langs x -coördinaat (m)

S_i = put- of bronterm; hierin kan de verandering in geadsorbeerde en geprecipiteerde hoeveelheid en de afbraak van stof i worden opgenomen ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$)

Een combinatie van beide bovenstaande vergelijkingen, die ook voor twee- of driedimensionale stroming kunnen worden opgesteld, levert de differentiaalvergelijking die veranderingen in waterkwaliteit tijdens stroming in de grond beschrijft. Evenals bij waterkwantiteitsproblemen geldt dat deze vergelijking alleen oplosbaar is bij gegeven begintoestand, randvoorwaarden en parameterwaarden. Met deze oplossing is in principe te berekenen wat de gevolgen zijn van een ingreep. De effecten zijn uit te drukken in:

- verandering in concentratie van stof i naar plaats (en tijd);
- veranderingen in de stoffenbalansen.

Mogelijke oplossingswijzen

Mogelijke oplossingswijzen voor de opgestelde differentiaalvergelijking zijn:

a. Analytisch

Met behulp van een analytische oplossing van grondwaterstromingsproblemen kunnen vaak ook analytische oplossingen van het waterkwaliteitsprobleem worden gevonden, door gebruik te maken van equipotentiaal- en stroomlijnen. Voor het gebruik van deze oplossingen moeten dan wel verschillende processen, van belang voor de waterkwaliteit, in de berekening worden opgenomen. Analytische oplossingen voor uitwisselings-

en evenwichtsvergelijkingen voor adsorptie van stoffen aan de bodem zijn beschikbaar. Samen met het transport van het water kan het gedrag van opgeloste stoffen in de bodem worden voorspeld, zoals bijvoorbeeld de verdringing van adsorptief gebonden kationen. Ook kan er zo worden berekend hoeveel adsorptief gebonden verontreinigingen in de bodem en water aanwezig zijn. Eén van de stoffen die in dit verband beschouwd is, is fosfaat.

b. Numeriek

In tegenstelling tot de grondwaterkwantiteitsmodellen zijn nog relatief weinig bruikbare kwaliteitsmodellen beschikbaar. Enkele operationele modellen voor tweedimensionale verzadigde gevallen zijn: het KONIKOW/BREDEHOEFT-model, het PRICKET/LONNQUIST-model, en het model VERA. Voor de meeste modellen geldt, dat ze slechts de verplaatsing van één enkele stof simuleren, waarbij chemische evenwichtsreacties voor alsnog buiten beschouwing zijn gebleven. Een overzicht van de beschikbare modellen wordt gegeven in CHO/TNO (1982) en VROM/L&V (1985).

Zeer recent is in het kader van de Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap (SWNBL) ook de ontwikkeling van modellen ter hand genomen waarbij convectief en dispersief transport van stoffen gekoppeld wordt aan chemische evenwichtsmodules ((WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM, 1986; GROENENDIJK, 1987). Op deze wijze wordt het mogelijk de chemische verandering van grondwater tijdens stroming door de ondergrond te simuleren.

Over het algemeen zijn grondwaterkwaliteitsmodellen beperkt beschikbaar en weinig getoetst aan veldomstandigheden. De kennis van belangrijke processen in de bodem is zeer onvolledig en gevolgen van ingrepen

kunnen alleen in sterk geschematiseerde omstandigheden worden geschat.

c. Andere manieren, zoals schaalmodellen en praktijkproeven

Gezien de bovenbeschreven problemen, die optreden bij het modelleren van het stoftransport door de bodem, bedient men zich vaak van indirecte methoden. Te denken valt hierbij aan het berekenen van de verblijftijden van water (te berekenen uit stroomsnelheid en af te leggen weg), correlatief onderzoek en schatting van invloedsoppervlakten op grond van kwantitatieve hydrologische gegevens (verandering van de herkomst van water).

7. METHODEN VAN EFFECTBEPALING OP HET NATUURGEBIED

7.1. INLEIDING

De laatste jaren zijn er enkele modellen ontwikkeld die het effect van ingrepen in de waterhuishouding op natuurwaarden voorspellen. De Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap (SWNBL) is een commissie die zich onder andere richt op de interactie tussen het waterregime en de natuur en die de hierover aanwezige kennis toepasbaar wil maken voor beleids- en beheersinstanties. Ook stimuleert ze ontwikkeling van nieuwe kennis op dit gebied.

Vanwege de beperkingen vermeld in Hoofdstuk 5 wordt hier niet ingegaan op de landschapsecologische benaderingswijze van de Rijksuniversiteit van Groningen (GROOTJANS, 1985; JANSEN en VAN DIGGELEN, 1987). Hoewel deze methode wel in de praktijk wordt toegepast om de effecten van waterhuishoudkundige veranderingen op de natuur te bepalen (KOK, 1987), betreft het hier een niet echt kwantificeerbare methode die in feite alleen door een beperkt aantal mensen kan worden toegepast.

Enkele voorspellingsmethoden van effecten op natuurwaarden worden hier behandeld voor terrestrische en aquatische milieus. De effecten van veranderingen in de hydrologie van een gebied verschillen sterk voor natuurwaarden van aquatische en terrestrische milieus.

Voor aquatische levensgemeenschappen is oppervlaktewater van een bepaalde kwaliteit en met een bepaalde stroomsnelheid de meest voorname milieufactor.

In terrestrische biotopen zijn vooral de veranderingen in grondwaterstand en grondwaterkwaliteit bepalend. In SWNBL-

verband (projectgroep 4) wordt bestudeerd in hoeverre ook het oppervlaktewater, via infiltratie of via lokale kwelstromingen, de vegetatie kan beïnvloeden. De fauna wordt in terrestrische milieus veelal niet direct beïnvloed door hydrologische veranderingen, wel indirect via de vegetatie.

Met de milieus verschillen ook de voorspellingsmethoden van effecten op de natuurwaarden. De methoden voor aquatische en terrestrische milieus worden daarom gescheiden behandeld in de volgende paragrafen.

7.2. TERRESTRISCHE MILIEUS

Tot nu toe is slechts één model beschikbaar dat de relaties tussen verschillende standplaatsfactoren op een kwantificeerbare wijze probeert te koppelen. Dit is het WATERFLOOramodel (WAFLO). Het is door het RIN (GREMMEN et al., 1985) ontwikkeld om de invloed van grondwaterstandsverlagingen op het verdwijnen van plantesoorten in het Pleistocene deel van Nederland te voorspellen.

Op basis van ecologische beslisregels doet het WAFLO-model uitspraken over het ten gevolge van waterstandsverlaging kunnen blijven of verdwijnen van afzonderlijke, oorspronkelijk aanwezige plantesoorten. Waterstandsverhoging is in dit model niet opgenomen en waterkwaliteitsverandering slechts in zeer beperkte mate. Uitgangspunten van dit model vormen de volgende dosis-effectrelaties:

- verandering in 'fijne milieudynamiek' en het effect daarvan op de samenstelling van de vegetatie;
- verandering in de beschikbaarheid van plantenvoedingsstoffen door verandering in de mineralisatiesnelheid van organi-

sch bodemmateriaal en het effect daarvan, opgehangen aan de beschikbaarheid van stikstof, op de samenstelling van de vegetatie;

- verandering in de aëratie van de bovengrond en het effect daarvan op de aanwezige plantesoorten;
- verandering in het vochtleverend vermogen van de bodem en het effect daarvan op de samenstelling van de vegetatie;
- verandering in de waterdiepte en de effecten daarvan op de soortensamenstelling van de vegetatie in open water.

De reactie van plantesoorten op de genoemde standsplaatsfactoren is afgeleid uit indicatiewaardenlijsten. Voor vocht en stikstof zijn de door Ellenberg toegekende stikstof- en vochtgetallen gebruikt (ELLENBERG, 1979). Voor de milieudynamiek is de indeling van Londo gekozen (LONDO, 1975). In terrestrische omstandigheden gaat het om de combinatie van de eerste vier relaties; in aquatische omstandigheden gaat het om de eerste en de laatste relatie.

De vijf onderscheiden dosis-effect relaties zijn terug te vinden in de vijf deelmodellen waaruit WAFLO is opgebouwd; deze worden hierna in het kort beschreven. Elk daarvan geeft de responsie weer van plantesoorten op één van de genoemde parameters volgens geformaliseerde beslisregels. Bij de interpretatie van de gevonden effecten zijn de wisselwerkingen tussen deze deelmodellen erg belangrijk. Op dit moment zijn deze nog niet nader geanalyseerd.

De vijf deelmodellen uit WAFLO zijn:

a. Responsie van plantesoorten op toename in milieudynamiek.

Alle soorten, die volgens de lijst van Londo als 'gevoelig' voor milieudynamiek bestempeld zijn, zullen volgens dit

TABEL 1. Stikstofindicaties van Ellenberg.

N = Stickstoffzahl

(Vorkommen im Gefälle der Mineralstickstoff-Versorgung während der Vegetationszeit)

- 1 Stickstoffärmste Standorte anzeigend
- 2 zwischen 1 und 3 stehend
- 3 auf stickstoffarmen Standorten häufiger als auf mittelmässigen bis reichen
- 4 zwischen 3 und 5 stehend
- 5 mässig stickstoffreiche Standorte anzeigend, an armen und reichen seltener
- 6 zwischen 5 und 7 stehend
- 7 an stickstoffreichen Standorten häufiger als an armen bis mittelmässigen
- 8 ausgesprochener Stickstoffzeiger
- 9 an übermässig stickstoffreichen Standorten konzentriert (Viehlägerpflanze, Verschmutzungszeiger)

Bron: ELLENBERG, 1979

eerste deelmodel verdwijnen na grondwateronttrekking. In relatief droge gebieden wordt het gebruik van dit deelmodel beperkt door de volgende factoren:

- in gebieden met een gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand van 80 cm of meer onder maaiveld wordt dit model alleen toegepast als de grondwaterstand met tenminste 10 cm daalt;
- in gebieden met een gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (in de oorspronkelijke situatie) van meer dan 130 cm onder maaiveld, wordt dit deelmodel helemaal niet toegepast.

b. Responsie van plantesoorten op toename

in stikstofbeschikbaarheid in de bodem. Er zijn schattingen gemaakt van de mogelijke toename in de stikstofbeschikbaarheid in de bodem bij verlaging van de grondwaterstand. Volgens dit submodel zullen in gebieden, waar een matige tot sterke toename van deze beschikbaarheid plaats heeft (in combinatie met een grondwaterstandsverlaging van tenminste 10 cm), alle soorten met stikstofindicaties 1, 2 of 3 van Ellenberg verdwijnen als gevolg van de grondwaterstandsval (Tabel 1).

c. Responsie van plantesoorten op toename bodemaëratie.

Als maat voor de graad van doorluchting van de bodem wordt het gemiddeld grondwaterniveau in het voorjaar genomen. In principe is de relatie tussen grondwaterstand en het voorkomen van plantesoorten te schatten, maar het aantal waarnemingen is voor de meeste soorten te klein om een betrouwbare schatting te kunnen maken. Op basis van de vochtgetallen van Ellenberg zijn groepen samengesteld van soorten met eenzelfde responsie op deze factor. Op basis hiervan zijn voorspellingen te doen over het verdwijnen van soorten bij grondwaterstandsverlaging.

d. Responsie van plantesoorten op veranderingen in bodemvochtleverantie.

Ook in dit geval is de responsie gerelateerd aan de vochtgetallen van Ellenberg. Het vochttekort is het verschil tussen de potentiële verdamping van bodem en vegetatie gedurende het groeiseizoen en de hoeveelheid voor de planten beschikbaar water, die wordt toegeleverd door bodem en neerslag. Niet de gemiddelde waarden zijn hier belangrijk, maar de extremen. Daarom is gebruik gemaakt van de vochttekorten in

droge jaren (frequentie van voorkomen 10%). Schattingen zijn gemaakt voor de responsie van de verschillende soorten op een toenemend vochttekort, waarbij de soorten naar vochtgetal zijn ingedeeld in groepen.

e. Responsie van plantesoorten op afname in diepte van open water.

De grootste veranderingen in soortensamenstelling treden op bij de overgang van permanent open water naar semi-permanent open water of land. Op basis van de vochtgetallen van Ellenberg zijn de soorten weer in groepen in te delen. Belangrijk is dat hierbij geen rekening is gehouden met verandering in stroomsnelheid van het water, verandering in de lichthuishouding en chemische veranderingen in het water en in de bodem als gevolg van grondwateronttrekking.

Ook voor het WAFLO-model geldt dat deskundigheid en inzicht in de betreffende situatie een vereiste is voor een verantwoorde toepassing van het model. Het is daarom zinvol een ecohydrologische beschrijving van het natuurgebied (DIJKEMA et al., 1985) te maken, voordat men het WAFLO-model toepast. De uitkomsten van WAFLO hebben vooral een vergelijkende waarde; het effect van verschillende ingrepen kan onderling worden vergeleken. De Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap werkt aan een verdere fysische onderbouwing van het WAFLO-model, daar verschillende deelmodellen voor alsnog zijn gebaseerd op geformaliseerde beslisregels en nog niet in alle situaties kunnen worden toegepast of tot bevredigende resultaten leiden. Hiermee beoogt de commissie tevens meer uitspraken over de mogelijkheid van manipulatie van de waterhuishouding te kunnen doen.

Daarnaast wordt ernaar gestreefd het

probleem van de (on)voorspelbaarheid van het verschijnen van soorten te omzeilen door het ontwikkelen van een natuurtechnisch model. Hierbij worden effecten van waterbeheer vertaald in een verandering van natuurwaarden. Natuurwaarden worden daarbij gerelateerd aan een vierdimensionale vectorruimte waarvan de assen de belangrijkste milieufactoren vertegenwoordigen.

7.3. AQUATISCHE MILIEUS

Op het gebied van de ecohydrologie is de modelontwikkeling voor effectvoorspelling volop in gang. Het betreft hier modellen, die de responsie van water- en moerasplanten op verschillende vormen van waterbeheer berekenen. De volgende drie modellen zijn in een meer of minder gevorderd stadium van ontwikkeling: het WAFLO-model (GREMMEN et al., 1985), een model ontwikkeld door DE LYON en ROELOFS (1986) en het model ICHORS. (BARENDRECHT et al., 1985).

Het Water FLOra-model is bij de terrestrische milieus uitgebreid behandeld. Voor aquatische situaties zijn alleen de volgende dosis-effect relaties van toepassing: verandering in de 'fijne milieudynamiek' en verandering in de waterdiepte in open water, met de effecten daarvan op de soortensamenstelling van de vegetatie.

Door DE LYON en ROELOFS (1986) is onderzoek verricht naar het voorkomen van de waterplanten in Nederland in relatie tot het abiotisch milieu. Dit verspreidingsonderzoek heeft geleid tot meer kennis over de responsies van waterplanten op veranderingen in het abiotisch milieu, waarmee het nu mogelijk is voorspellingen te doen op niveau van plantesoorten. Deze kennis wordt door Roelofs vastgelegd in een model,

waarmee het mogelijk is effectvoorspellingen voor vegetatietypen te doen. Dit model is toepasbaar voor een groot gebied in Nederland en komt op korte termijn beschikbaar.

Een ander model is ICHORS (BARENDRECHT et al., 1985). Dit is ontwikkeld naar aanleiding van een onderzoek in de Vechtstreek naar de empirische verbanden tussen fysisch-chemische eigenschappen van oppervlakte- en grondwater en het voorkomen van plantesoorten in water- en moerasesystemen. De invoer van het model bestaat uit bodemgegevens, chemische analyseresultaten, waterpeilen en gegevens over kwel en infiltratie. Het model voorspelt vervolgens de theoretische trefkans voor 200 plantesoorten door middel van regressievergelijkingen en op deze wijze verkrijgt men een globale indicatie van de potentiële ontwikkelingen van planten of plantengemeenschappen.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

- BUISHAND, T.A. en C.A. VELDS. 1980. Klimaat van Nederland. KNMI, De Bilt. 206 pp.
- CONTACTGROEP TNO. 1986. Contactgroep voor archivering en automatische verwerking van hydrologische gegevens. Gids voor het verkrijgen van hydrologische gegevens in Nederland. Nota 86-17. DBW/RIZA, Lelystad. 17 pp.
- DUMONT, M.J., H.C.N. VAN DER PUTTEN en R. REILING. 1985. Milieu-inventarisaties in Nederland. Overzicht van inventarisaties op provinciale en nationale schaal van bodem, water, lucht, flora en fauna. Stichting voor Toegepaste Landschapsecologie, SSN-Nijmegen. 531 pp.
- DIJKEMA, M.P., R.D.W. HYDRA, L. VAN DER MEULEN, J.Ph. WITTE en G. VAN WIRDUM. 1985. Een schema voor de ecohydrologische beschrijving van natuurgebieden. Rapport 1a Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Utrecht. 69 pp.
- ENGELLEN, G.B. 1984. Hydrological systems analysis, a regional case study. Report OS 84-20. TNO-DGV, Delft. 43 pp.
- GROENENDIJK, P. 1987. Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Deel 3: EPIDIM, een chemisch evenwichtsmodel met adsorptie, verwerking en neerslag van calciëet. Nota 1774. ICW, Wageningen. 38 pp.
- JANSEN, A.J.M. en R. VAN DIGGELEN. 1987. Landschapsecologische methodenstudie naar de effecten van grondwaterwinning. Deel 1: Methode en evaluatie. Langbroek, bureau voor landschapsoecologisch onderzoek, Leeuwarden. 27 pp.
- JANSEN, P.C. en R.H. KEMMERS. 1980. Relaties tussen hydrologische parameters en enkele vegetatietypen van het CRM-reservaat Groot Zandbrink. Nota 1180. ICW, Wageningen. 50 pp.
- KEMMERS, R.H. 1982. Hydrologische bufferzones; werking en de relatie tot hun ruimtelijke positie in het landschap. WLO-Med. 9, 3/4: 99-108. Med. 19. ICW, Wageningen.
- 1986. Perspectives in modelling of processes in the root zone of spontaneous vegetation at wet and damp sites in relation to regional water management. In: J.C. Hooghart. Water management in relation to nature, forestry and landscape management: proceedings of technical meeting 43, February, 1986. Proceedings and information 34. CHO-TNO, 's-Gravenhage: 91-116.
- en P.C. JANSEN. 1980. De invloed van chemische factoren in grondwater en bodem op enkele vegetatietypen in het CRM-reservaat Groot Zandbrink. Nota 1181. ICW, Wageningen. 37 pp.
- KOK, A. 1987. Ontwikkelingen omtrent de methode van natuur-effectbeschrijving in de T.C.G.B. rapporten. Secretariaat Technische Commissie Grondwaterbeheer, Utrecht. 19 pp.
- KOOPMANS, R.W.R. 1986. Numerieke oplossen van grondwaterstromingen. Landbouwhogeschool, Vakgroep Cultuurtechniek, sectie agrohydrologie, Wageningen. 103 pp.

- SWNBL. 1984. Bepaling belangrijkste water-
huishoudkundige variabelen. Rapport 4.
Studiecommissie Waterbeheer Natuur,
Bos en Landschap, Utrecht. 59 pp.
- 1986. Interimrapport 1983-1985.
Studiecommissie Waterbeheer Natuur,
Bos en Landschap, Utrecht. 168 pp.
- WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM. 1986.
Modellering van Ca^{2+} in grondwater.
Verslag onderzoekfase 2. Februari
1986. W.L., Delft. 32 pp.
- WERKGROEP WATER, BODEM EN LUCHT. 1983.
Evaluatie van landinrichtingsprojec-
ten. Voorspelling van de effecten van
landinrichting op water, bodem en
lucht. Eindrapport fase 1. Landinrich-
tingsdienst, Utrecht. 38 pp.
- 1986. Evaluatie van landinrichtings-
projecten. Voorspelling van de veran-
deringen in de gesteldheid van water,
bodem en lucht als gevolg van landin-
richting. Mededeling 167. Landinrich-
tingsdienst, Utrecht. 48 pp.
- WIRDUM, G. VAN. 1980a. Een eenvoudige
beschrijving van de waterkwaliteits-
verandering gedurende de hydrologische
kringloop ten behoeve van de natuur-
bescherming. In: J.C. Hooghart (red.).
Waterkwaliteit in grondwaterstromings-
stelsels. Verslag van de workshop op 1
en 2 april 1980. Rapporten en Nota's
5. CHO-TNO, s'Gravenhage: 118-143.
- 1980b. Linking up the natec subsystem
in models for the water management.
Proceedings and information 27 CHO-TNO,
's-Gravenhage: 108-128.

LITERATUUR VOOR VERDERE STUDIE

HOOFDSTUK 3. BESCHRIJVING NATUURGEBIED

3.2. Biotische aspecten

ARNOLDS, E.J.M. 1983. Standaardlijst van de Nederlandse Flora. Samengesteld door: R. van der Meijden, E.J.M. Arnolds, F. Adema (et al.). Rijksherbarium, Leiden. 32 pp.

DIJKEMA, M.P., R.D.W. HYDRA, L. VAN DER MEULEN, J.Ph. WITTE en G. VAN WIRDUM. 1985. Een schema voor de ecohydrologische beschrijving van natuurgebieden. Rapport 1a. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Utrecht. 69 pp.

——, R.D.W. HYDRA, L. VAN DER MEULEN, J.Ph. WITTE en G. VAN WIRDUM. 1985. Ecohydrologische beschrijvingen en vergelijking van een tiental natuurgebieden. Rapport 1b. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Utrecht. 81 pp.

EVERTS, F.H., N.P.J. DE VRIES en H.A. UDO DE HAES. 1982. Een landelijk systeem van ecotopen. Meded. 8. Centrum voor Milieukunde, RU Leiden. 152 pp.

KALKHOVEN, J.T.R., A.H.P. STUMPEL en S.E. STUMPEL-RIENKS. 1976. Landelijke Milieukartering. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage. 141 pp.

LANGHE, J.E. DE. 1983. Flora van België, het Groothertogdom Luxemburg, Noord-Frankrijk en de aangrenzende gebieden. Samengesteld door: J.E. de Langhe, L. Delvasalle, J. Duvigneaud (et al.). Meise: Patrimonium van de Nationale Plantentuin van België. 970 pp.

OSIECK, E.R. 1986. Bedreigde en karakteristieke vogels in Nederland. Nederlandse Vereniging tot Bescherming van Vogels, Zeist. 132 pp.

PETERSON, R.T., G. MOUNTFORT en P.A.D. HOLLOM. 1976. Petersons Vogelgids van alle Europese vogels. Elsevier, Amsterdam. 344 pp.

RAUH, W. und K. SENGHAS. 1976. Schmeil-Fitschen, Flora von Deutschland und seinen angrenzenden Gebieten. Quelle und Meijer, Heidelberg. 516 pp.

RIJKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER. 1983. Dieren. PUDOC, Wageningen. 423 pp.

STUMPEL-RIENKS, S.E. 1974. De botanische waardering van ecotopen als bijdrage tot een globale waardering van het natuurlijk milieu. Gorteria 7. 6: 91-98.

WESTHOFF, V. en A.J. DEN HELD. 1969. Plantengemeenschappen in Nederland. Thieme, Zutphen. 324 pp.

WIRDUM, G. VAN. 1979. Dynamic aspects of trophic gradients in a mire complex. Proceedings and information 25. CHO-TNO, 's-Gravenhage: 66-82.

3.3. Abiotisch milieu

BAKKER, H. DE en J. SCHELLING. 1976. Systeem van de bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. 217 pp.

HOOFDSTUK 4. BESCHRIJVING HYDROLOGISCHE SITUATIE

4.3. Grondwater en bodemwater

BOTS, W.C.P.M., P.C. JANSSEN en G.J.

NOORDERWIER. 1978. Fysisch-chemische samenstelling van oppervlakte- en grondwater in het Noorden des lands. Regionale Studie 13. ICW, Wageningen, 111 pp.

JANSSEN, P.C. 1983. Waterkwaliteit: een beknopt overzicht van begrippen, parameters en normen. Nota 1461. ICW, Wageningen. 32 pp.

HOOFDSTUK 6. METHODEN VAN EFFECTBEPALING OP DE HYDROLOGISCHE SITUATIE

6.2. Voorspellen van effecten op oppervlaktewater

ANDRÉ, D. en A.J. GELOK. 1976. Voorbeeld en de berekening van een waterbeheersingsplan, waarbij gebruik gemaakt is van de computerprogramma's CORLIST, DIWA, GROND en TEKDIGRO. Landinrichtingsdienst. Utrecht. 66 pp.

BOUWKNECHT, J. 1978. HYDRA, een computerprogramma voor het berekenen van hydraulische netwerken. Waterschapsdagen 1978 ter gelegenheid van 90 jaar Heide-mij, Arnhem. 48 pp.

QUERNER, E.P. Program SIMPRO. User's manual. Nota ICW in voorbereiding, Wageningen (bevat SIMWAT).

VREUGDENHIL, C.B. 1973. Computational methods for channel flow. In: Hydraulic research for water management. Verslagen en Mededelingen 18. CHO-TNO, 's-Gravenhage: 38-79 (bevat NETFLOW).

6.3. Voorspellen van effecten op grond- en bodemwater

LD. 1986. Afdeling Waterhuishouding Landinrichtingsdienst. Model HYMO. Landinrichtingsdienst, Utrecht.

BEAR, J. 1972. Dynamics of fluids in porous media. Am. Elsevier Publ. Comp., New York. 764 pp.

— 1979. Hydraulics of groundwater. McGraw-Hill Int. Book Comp., New York. 567 pp.

BERGHUIJS-VAN DIJK, J.T., P.E. RIJTEMA, C.W.J. ROEST. 1985. ANIMO, Agricultural Nitrogen Model. Nota 1671. ICW, Wageningen. 86 pp.

BLACK, C.A. 1965. Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Part 2. Chemical and microbiological properties. Madison: American Society of Agronomy. Agronomy no. 9.

BOUMANS, L.J.M. 1982. Inventarisatie Grondwaterkwaliteitsmodellen. Rapporten en Nota's 11 CHO-TNO, 's-Gravenhage, 163 pp.

BRUGGENWERT, M.G.M. 1979. Soil Chemistry. B: Physico-chemical models (Ed. G.H. Bolt). Elsevier Sci. Publ. Cy, Amsterdam. 527 pp.

CHOW, V.T. 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York. 1418 pp.

CHO-TNO. 1964. Steady flow of groundwater towards wells. Verslagen en mededelingen 10. CHO-TNO, 's-Gravenhage, 179 pp.

— 1982. Rapport en aanbevelingen van de Contactgroep Grondwatermodellen. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 's-Gravenhage. 35 pp.

EDELMAN, J.H. 1972. Groundwater hydraulics of extensive aquifers. Bulletin 13 ILRI, Wageningen. 216 pp.

- ERNST, L.F. 1962. Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. PUDOC, Wageningen. 189 pp.
- 1983. Wegzijging en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden. Rapport 7. ICW, Wageningen. 37 pp.
- GERRITSE, R.G. 1981. Ophoping en uitspoeling van fosfaat uit organische mest en kunstmest in de bodem. *Bedrijfsontwikkeling* 12:973-976.
- , P.A.C. RAATS en P. DE WILLIGEN. 1982. Transport and fixation of phosphate in acid, homogeneous soils: I. Physico-mathematical model; II. Computer simulation; III. Experimental case study of acid, sandy soil columns heavily treated with pig slurry. *Agriculture and Environment* 7:149-185.
- HOEKS, J. 1977. Berekening van grondwaterverontreiniging bij puntbelastingen. Nota 968. ICW, Wageningen. 22 pp.
- 1981. Analytical solutions for transport of conservative and non-conservative contaminants in groundwater systems. *Water, Air and Soil Pollution* 16: 339-350. *Techn. Bull.* 2. ICW, Wageningen.
- HUISMAN, L. 1972. *Groundwater Recovery*. MacMillan, London. 336 pp.
- KARICKHOFF, S.W., D.S. BROWN and T.A. SCOTT. 1979. *Water Research*. Vol. 13: 241-248.
- KORZILIUS, E. en A. BREEUWSMA. 1983. Het fosfaatbindend vermogen van enkele zandgronden. Rapport 1745. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. 57 pp.
- VROM/L&V. 1985. Effectvoorspelling. Milieu-effectrapportage. Deel 3: Oppervlaktewater. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Ministerie van Landbouw en Visserij, 's-Gravenhage.
- 1985. MER-technieken effectvoorspelling. Deel 4: Bodem. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Ministerie van Landbouw en Visserij, 's-Gravenhage.
- TRAVIS, C.C. and E.L. ETNIER. 1981. *J. Environm. Qual.* 10: 8-17.
- VERRUIJT, A. 1970. *Theory of Groundwater Flow*. MacMillan, London. 190 pp.
- HOOFDSTUK 7. METHODEN VAN EFFECTBEPALING OP HET NATUURGEBIED
- 7.2. Terrestrische milieus
- ELLENBERG, H. 1979. *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas*. 2. Aufl. Göttingen, Goltze. *Scripta Geobotanica* 9: 122 pp.
- EVERTS, F.H. en N.P.J. DE VRIES. 1986. *Landschapsoecologisch onderzoek 'Roden-Norg'*. Van der Wal en Langbroek, Bureau voor landschapsoecologisch onderzoek, Leeuwarden. 154 pp.
- GREMME, N.J.M., M.J.S.M. REIJNEN, J. WIERTZ en G. VAN WIRDUM. 1985. Modeling for the effects of ground-water withdrawal on the species composition of the vegetation in the Pleistocene areas of The Netherlands. In: *Jaarverslag 1984*. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem, Leersum en Texel: 89-111.
- GROOTJANS, A.P. 1985. Changes of ground-water regime in wet meadows. Rijksuniversiteit Groningen, Groningen. 146 pp.
- JANSEN, A.J.M. en R. VAN DIGGELEN. 1987. *Landschapsecologische methodenstudie naar de effecten van grondwaterwinning*. Deel 1: Methode en evaluatie. Deel 2: Havelte. Deel 3: Gaasterland. Langbroek, Bureau voor landschapsecologisch onderzoek, Leeuwarden. 284 pp.

LONDO, G. 1975. Nederlandse lijst van hydro-, freato- en afreatofyten. Rapport Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 52 pp.

7.3. Aquatische milieus

BARENDRECHT, A., J.T. DE SMIDT en M.J. WASSEN. 1985. Relaties tussen milieufactoren en water- en moerasplanten in de Vechtstreek en de omgeving van Groet. Interfacultaire Vakgroep Milieukunde, Rijksuniversiteit, Utrecht. 47 pp.

LYON, M.J.H. DE en J.G.M. ROELOFS. 1986. Waterplanten in relatie tot waterkwaliteit en bodemgesteldheid, deel 1 en 2. Laboratorium voor Aquatische Oecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen. 105 pp.

5. GREMMEN, N.J.M. 1984. Bijstellen van het WAFLO-model. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 46 pp.

6. GREMMEN, N.J.M. en C.J.F. TER BRAAK. 1984. Ekologische amplitudo's bij Ellenberg's vochtindicatiegetallen en de responsie van plantesoorten op het vochtleverend vermogen van de bodem in het pleistocene deel van West-Brabant. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 68 pp.

7. GREMMEN, N.J.M. 1984. Een poging tot toetsing van het WAFLO-model. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 53 pp.

8. GREMMEN, N.J.M. 1984. Gevoeligheidsanalyse van het WAFLO-model. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 34 pp.

Deelrapporten 1 - 8 van het WAFLO-model:

1. REIJNEN, M.J.S.M. en J. WIERTZ. 1983. Projectbeschrijving. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
2. HOED, M.A. DEN, L.M.F. HUSSON en M.J.S.M. REIJNEN. 1985. Selectie van proefgebieden en inventarisatie van botanische gegevens en beheersaspecten. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 89 pp.
3. VRIELINK, J.G. en A.G. BEEKMAN. 1983. Bodemkundige beschrijving van de proefgebieden. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. 144 pp.
4. JONKER, J. 1983. Beschrijving van het grondwaterregime in de proefgebieden. Technisch Secretariaat Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, Utrecht. 257 pp.

De RAPPORTEN zijn te bestellen door storting van het verschuldigde bedrag op giro 817672 t.n.v. ICW, Wageningen, onder vermelding van de gewenste publikatie en het aantal exemplaren. Toezending geschiedt na ontvangst van het bedrag.

Prijs Rapport 1 f 15; Rapport 2 f 10; Rapport 3 f 5; Rapport 3 f 5; Rapport 6 f 5; Rapport 7 f 7.50; Rapport 8 f 7.50; Rapport 9 f 5; Rapport 10 f 7.50; Rapport 11 f 7.50; Rapport 12 f 12.50; Rapport 13 f 10; Rapport 14 f 7.50; Rapport 15 f 15; Rapport 16 f 10; Rapport 17 f 12.50; Rapport 18 f 10; Rapport 19 f 20; Rapport 20 f 15; Rapport 21 f 25; Rapport 22 f 12.50; Rapport 23 f 12.50

Te verkrijgen RAPPORTEN

1. Sprik, J.B. en G.H. Horst. 1982. Onderzoek naar capaciteitsnormen voor diepploegen, bulldozers en hydraulische graafmachines.
2. Nieuwenhuis, G.J.A. en C.L. Palland. 1982. Verdamping van een aardappelgewas en de meting daarvan via remote sensing.
3. Hoeks, J. en G.J. Agelink. 1982. Onderzoek naar mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen.
5. Rijtema, P.E. et al. 1982. Bemesting, waterhuishouding, perceelscheidingen en landbouw. Commentaar op een RIN-rapport.
6. Harmsen, J. en H. van Drumpt. 1982. Conservering van watermonsters.
7. Ernst, L.F. 1983. Wegzijging en kwel: de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden.
8. Steenvoorden, J.H.A.M. en M.J. de Heus. 1984. Fosfaatbalansstudies en de bijdrage van diffuse bronnen.
9. Wijk, A.L.M. van. 1984. Landbouwkundige aspecten van ontwatering in veenweidegebieden. Commentaar op een literatuur-analyse.
10. Beuving, J. 1984. Vocht- en doorlatendheidskarakteristieken, dichtheid en samenstelling van bodemprofielen in zand-, zavel, klei- en veengronden.
11. Weerd, B. van der en L.F. Ernst. 1984. Een prognose van het effect van een peilverhoging in het Philippinekanaal (Zeeland) op de grondwaterstand in de aangrenzende polders.
12. Werkgroep nitraatuitspoeling in waterwingebieden. 1985. Nitraatproblematiek bij grondwaterwinning in Nederland. Onderzoek naar alternatieve maatregelen.
13. Wilde, J.G.S. de. 1984. Dammen van riet, heide of boomschors als perceelverbinding in veenweidegebieden.
14. Kemmers, R.H. en P.C. Jansen. 1985. Stikstofmineralisatie in onbemeste half-natuurlijke graslanden.
15. Bakel, P.J.T. van. 1985. Effecten van peilbeheer in het gebied 'De Monden' (Drenthe).
16. Wilde, J.G.S. de. 1985. Rekenmodel en produktienormen voor grondtransport met getrokken en zelfrijdende dumpers.
17. Projectteam Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. 1985. Onderzoek naar de mogelijkheden van operationele toepassing van remote sensing technieken in de landbouw en het natuurbeheer. Eindrapport.
18. Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving. 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks.
19. Rijtema, P.E., C.W.J. Roest en J. Pankow. 1986. Onderzoek naar de waterbalans van vuilstortplaatsen.
20. Bakker, J.W., F.R. Boone en P. Boekel. 1987. Diffusie van gassen in grond en zuurstofdiffusiecoëfficiënten in Nederlandse akkerbouwgronden.
21. Hoeks, J., A.H. Ryhiner en J. van Dommelen. 1987. Onderzoek naar de praktische uitvoerbaarheid van bovenafdichting op afvalstortterreinen.
22. Bronswijk, J.J.B. en J.J. Evers-Vermeer. 1987. Krimp-karakteristieken van kleigronden in Nederland.
23. Adriaanse, P.I. 1987. Hydrologische veranderingen in natuurgebieden: overzicht van benodigde gegevens, analysemethoden en modellen.